



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## ZEMNÍ PLYN

NATURAL GAS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

ZDENĚK TRÁVNÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.

BRNO 2015



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Zdeněk Trávníček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Zemní plyn**

v anglickém jazyce:

### **Natural gas**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na popis aktuálního stavu problematiky zásobování ČR zemním plynem, akumulace zemního plynu na našem území a popis alternativních možností náhrady zemního plynu.

Cíle bakalářské práce:

1. Představte aktuální situaci zásobování ČR zemním plynem.
2. Zpracujte problematiku akumulace zemního plynu.
3. Popište možnosti náhrady zemního plynu.
4. Porovnejte ekonomiku využití standardního a kondenzačního kotle na ZP pro vytápění zvoleného objektu.

Seznam odborné literatury:

Kameš, Josef, Fosilní paliva: uhlí, ropa a zemní plyn, 2012

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 21.11.2014

L.S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je vypracovat rešerši na téma zemní plyn, především se zaměřením na Českou republiku. Nejprve bude pojednáno o zemním plynu obecně, jeho vlastnostech, světových zásobách, způsobech těžby a možnostech jeho využití. Hlavní část práce se pak zabývá zásobováním zemním plynem a jeho akumulací na území České republiky. Následuje vyjmenování a stručný popis možností náhrad zemního plynu a jeho současných zdrojů. V poslední části se pak nachází porovnání ekonomiky využití klasického a kondenzačního kotle při vytápění rodinného domu a doporučení typu kotle na základě modelového příkladu.

## ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis is to collect facts about natural gas, focusing mainly on the situation in the Czech Republic. Firstly, the thesis discusses the natural gas in general - its properties, world resources, ways of production and usage. The main part of the thesis deals with supply and accumulation of natural gas in the Czech Republic. Secondly, enumeration and brief description of possibilities of natural gas substitution is presented. Finally, comparison of usage of classic non-condensing and condensing boiler for a family house heating is introduced. Recommendation of boiler type based on the model example is included as well.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Fosilní palivo, zemní plyn, podzemní zásobník plynu, nekonvenční plyn, bioplyn, klasický kotel, kondenzační kotel.

## KEY WORDS

Fossil fuels, natural gas, underground natural gas storage, unconventional gas, biogas, classic non-condensing boiler, condensing boiler.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TRÁVNÍČEK, Z. *Zemní plyn*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 57 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiřího Pospíšila, Ph.D. Vycházel jsem přitom ze svých znalostí, odborných konzultací a citovaných zdrojů.

V Brně, dne .....

Podpis .....

Zdeněk Trávníček

## PODĚKOVÁNÍ

V první řadě chci poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za věnovaný čas, odborné vedení a cenné rady. Jsem také velmi vděčný své rodině a přátelům za velkou trpělivost a podporu, kterou mi poskytovali během psaní této práce a celé doby studia.



## OBSAH

Úvod.....	11
1 Zemní plyn .....	12
1.1 Vznik .....	13
1.2 Vlastnosti.....	13
1.3 Světové zásoby, produkce a spotřeba.....	15
1.4 Způsob těžby a úprava.....	17
1.5 Přeprava.....	18
1.6 Použití.....	19
2 Zásobování České republiky zemním plynem .....	20
2.1 Spotřeba zemního plynu v ČR .....	20
2.2 Dovoz zemního plynu .....	21
2.2.1 Dovozní a vývozní statistika .....	22
2.2.2 Česká republika v rámci evropské sítě .....	22
2.2.3 Vnitrostátní síť .....	23
2.3 Těžba zemního plynu na našem území .....	24
3 Akumulace zemního plynu na našem území .....	26
3.1 Popis zásobníků.....	29
3.2 Plánované zásobníky .....	31
4 Možnosti náhrady zemního plynu .....	32
4.1 Nekonvenční zdroje zemního plynu.....	32
4.1.1 Plyn z nízkopropustných písků .....	32
4.1.2 Břidlicový plyn.....	34
4.1.3 Plyn z uhelných slojí .....	34
4.1.4 Hydráty metanu .....	34
4.2 Bioplyn .....	35
4.3 Další možnosti.....	36
5 Klasické a kondenzační kotle na zemní plyn .....	37
5.1 Charakteristika klasického kotle .....	37
5.2 Charakteristika kondenzačního kotle .....	38
5.3 Ekonomika využití při vytápění rodinného domu.....	40
Závěr.....	42

Seznam použitých zdrojů .....	43
Seznam použitých symbolů a zkratek .....	49
Seznam obrázků a grafů .....	50
Seznam tabulek .....	50
Seznam příloh.....	51
Přílohy .....	52

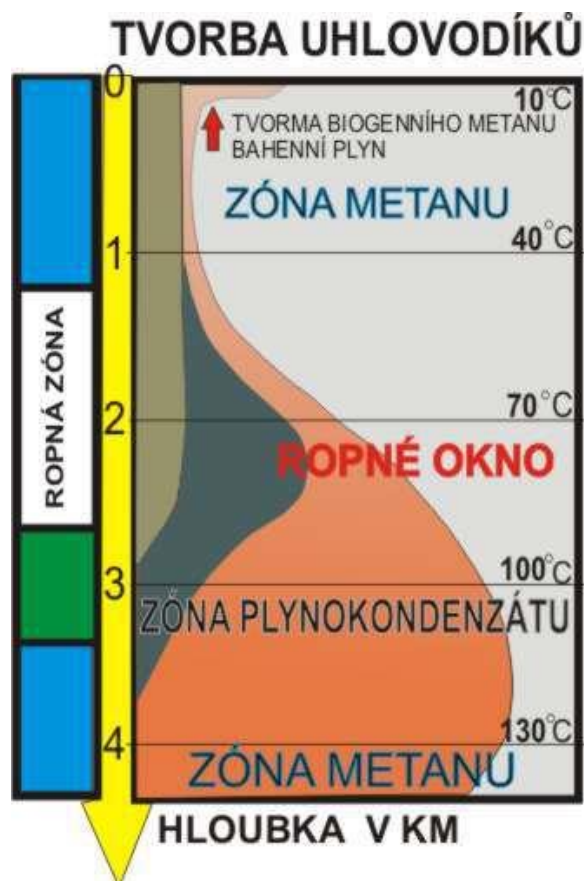
## ÚVOD

Lidstvo je již po několik set tisíc let závislé na získávání tepelné energie z dostupných zdrojů. V dávných dobách, kdy dispozice ohněm byla otázkou přežití, bylo hlavním palivem především lehce dostupné dřevo. S technickým pokrokem v posledních stovkách let však byli lidé schopni nalézat a využívat i další paliva. Jedním z nich je zemní plyn. Počátky jeho využívání sahají až do druhé poloviny 18. století. Díky svým vlastnostem byl stále více vyhledáván a v roce 1901 poprvé objeven také v českých zemích, kdy byl u Hodonína na jižní Moravě navrtán ve společném ložisku s ropou. Do dnešní doby došlo k velkému rozvoji v plynárenství. Zemní plyn se stal strategickou surovinou a přední komoditou na světových trzích. Jen v České republice je dodáván do více než 2,5 milionu domácností. [1,2]

Vzhledem k významu zemního plynu se mu bude věnovat i tato bakalářská práce. Jejím hlavním cílem je vypracovat stručnou rešerši, v níž bude představena aktuální situace zásobování České republiky plynem, jeho akumulace na našem území a také případné možnosti jeho náhrady. V poslední kapitole pak bude zaměřena přímo na koncový odběr, kde bude porovnána ekonomika využití standardního a kondenzačního kotle na zemní plyn pro vytápění rodinného domu.

# 1 ZEMNÍ PLYN

Zemní plyn je vysoce výhřevná směs složená z plynných uhlovodíků (hlavní složkou je metan) a proměnlivého množství neuhlovodíkových plynů. Řadí se mezi fosilní paliva. Ta vznikala v průběhu několika milionů let z organických látek, především odumřelých rostlin a těl za vysokého tlaku a absence vzduchu. Vliv má také teplota, obecně platí, že s rostoucí teplotou, tedy s větší hloubkou pod povrchem, se vyskytuje více zemního plynu než ropy, která naopak vzniká za nižších teplot (viz obrázek 1.1). I přesto se ale některá ropná ložiska nalézají i 8 km pod zemským povrchem. Mezi fosilní paliva se dále řadí také uhlí, které má velký význam zejména při výrobě elektrické energie. Například v České republice se téměř polovina veškeré elektrické energie vyrobí právě v uhelných elektrárnách. Na základě pozorování současných trendů ve výrobě elektrické energie však lze usuzovat, že její výroba z uhlí a používání fosilních paliv obecně se bude v budoucnu omezovat zejména ve prospěch energie z obnovitelných zdrojů. Důvodem je relativně velké znečištění ovzduší uhelnými elektrárnami, ale také vyčerpatelnost fosilních paliv, protože se jedná o zdroje neobnovitelné. [3,4,5]



Obr. 1.1: Podíl ropy a plynu v závislosti na hloubce pod povrchem a teplotě [6]

## 1.1 VZNIK

Dodnes není naprosto přesně znám mechanismus vzniku zemního plynu, respektive mechanismů je popsáno více a nelze jednoznačně označit jen jeden jako definitivně správný. Zejména se diskutuje o dvou, navzájem se vylučujících, teoriích, a to organické a anorganické. Organická teorie úzce souvisí s obecným mechanismem vzniku fosilních paliv, popsáním výše, a tedy, že zemní plyn se postupně uvolňoval při vzniku uhlí nebo ropy v důsledku rozkladu organického materiálu. Pro tuto teorii hovoří také fakt, že zemní plyn se často nachází ve společném ložisku s ropou, pak jde o tzv. naftový zemní plyn, nebo s uhlím, kdy hovoříme o karbonském zemním plynu. Z tohoto lze usuzovat, že společná poloha fosilních paliv by mohla ukazovat na podobný mechanismus jejich vzniku. [3,7,8]

Organickou teorii také zastupuje mechanismus, který je založen na transformaci organické hmoty drobnými mikroorganismy, přičemž vzniká tzv. biogenní metan. Jako příklad místa, pro vznik biogenního metanu můžeme uvést skládky, kde se během hniloby a rozkladu organického materiálu produkuje poměrně velké množství plynů, mezi nimi i metan. Tento proces tzv. anaerobní digesce je poměrně běžný a můžeme ho pozorovat v našem okolí. Mikroorganismy za něj zodpovědné se totiž nachází také ve střevech většiny živočichů, včetně člověka. Na procesu anaerobní digesce je také založena výroba bioplynu v bioplynových stanicích (podrobněji viz kapitola 4.2). [3,9,10]

Druhou uvažovanou teorií vzniku zemního plynu je teorie založená na anorganických pochodech. V podstatě se jedná o množství na sebe navazujících chemických reakcí anorganických látek, probíhajících zejména během tuhnutí magmatu. Tyto reakce pak úzce souvisí s těmi, při kterých vznikala i ropa. Rozdílem však bylo působení větších tlaků a teplot, za kterých docházelo ke vzniku krátkých uhlovodíkových fragmentů. Tímto mechanismem se pak z ropy odlučoval tzv. mokrá zemní plyn (směs metanu a vyšších plynných alkanů), který nacházíme společně s ropou v ropné zóně (jinak také zóna katagenese). V zóně metanu (metagenese), tedy v hloubkách větších než 4 km, se pak tvořil již převážně metan. V rámci anorganické teorie vzniku zemního plynu se uvádí také tzv. abiogenetická hypotéza, která spočívá ve štěpení uhlovodíků, které se na naši planetu dostaly v době jejího vzniku. Anorganická teorie tedy převážně vysvětluje naleziště ropy a plynu ve vyšších hloubkách, kde je poměrně malá šance na výskyt většího množství organického materiálu. [8,11,12,13]

## 1.2 VLASTNOSTI

Vlastní zemní plyn je bezbarvá, nezapáchající a hořlavá plynná látka o nízké hustotě. Při úniku z ložiska nebo při tvorbě na zemském povrchu dojde k volnému rozptýlení do atmosféry. Vzhledem k tomu, že se zemní plyn používá zejména pro výrobu tepelné energie, je potřeba pracovat s množstvím energie, kterou můžeme získat z daného množství plynu. Tyto vlastnosti se nazývají výhřevnost (značka  $H_i$ ) a spalné teplo ( $H_s$ ) a obě značí množství tepla, které dostaneme úplným spálením jednotkového objemového množství plynu ( $m^3$ ) za atmosférického tlaku v adiabatických podmínkách při ochlazení spalin na původní teplotu spalovaného plynu. Rozdílem mezi těmito dvěma charakteristikami je pohled na využití tepla

spalin, výhřevnost totiž uvažuje, že vodní pára zůstane v plynném skupenství, zatímco u spalného tepla se připočítává i teplo, které vodní pára odevzdá při přechodu do kapalného stavu (tedy skupenské teplo kondenzace). Hlavní vliv na tyto dvě vlastnosti má především podíl metanu v zemním plynu, přičemž platí, že čím více metanu, tím větší výhřevnost, respektive spalné teplo. [3,8,14]

Díky vysokému obsahu metanu se pak zemní plyn řadí mezi velmi výhřevné topné plyny, jejichž spalné teplo se přibližně pohybuje v rozmezí od 33 MJ/m<sup>3</sup> do 46 MJ/m<sup>3</sup>, přičemž při větším obsahu vyšších uhlovodíků může být spalné teplo ještě vyšší. Lépe na tom jsou jen vysoce výhřevné plyny, například směs propan-butan (LPG). Složení zemního plynu z různých nalezišť můžeme pozorovat v tabulce 1.1. [8,14]

Složky zemního plynu	Podíl složky v daném typu zemního plynu v obj. %				
	Tranzitní ZP	Norský ZP (Ekofisk)	Alžírský ZP (Hassi R Mel)	Jihomoravský ZP	Holandský ZP (Groningen)
Metan CH <sub>4</sub>	98,39	85,80	86,90	97,70	81,31
Etan C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,44	8,49	9,0	1,20	2,85
Propan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,16	2,30	2,60	0,50	0,37
Butan C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,07	0,70	1,20	-	0,14
Pentan C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,03	0,25	-	-	0,09
Dusík N <sub>2</sub>	0,84	0,96	0,30	0,60	14,35
Oxid uhličitý CO <sub>2</sub>	0,07	1,50	-	-	0,89

Tab. 1.1: Složení vybraných zemních plynů, používaných v EU [14]

Zemní plyn je také hojně používán z toho důvodu, že je považován v rámci fosilních paliv za ekologicky přijatelný. Díky vysokému obsahu metanu má totiž zemní plyn nejnižší množství oxidu uhličitého ve spalinách (až o 50 % méně ve srovnání s tuhými palivy) a při jeho spalování se také uvolňuje jen velmi málo oxidů dusíku. V tabulce 1.2 jsou uvedeny další fyzikální charakteristiky zemního plynu, jedná se o průměrné hodnoty za pokojové teploty a atmosférického tlaku, přesnější hodnoty lze stanovit výpočtem ze složení jednotlivých zemních plynů (popř. viz [14] kapitoly B a C). [5,17]

Výhřevnost	34,08 MJ/m <sup>3</sup>	Zápalná teplota	650 °C
Spalné teplo	37,82 MJ/m <sup>3</sup>	Množství spalovacího vzduchu	9,56 m <sup>3</sup> vzd./m <sup>3</sup> ZP
Hustota	0,69 kg/m <sup>3</sup>	Teplota plamene	1957 °C
Dolní mez výbušnosti <sup>1</sup>	4,4 %	Teplota varu	-162 °C
Horní mez výbušnosti <sup>1</sup>	15 %	Teplota tuhnutí	-182 °C

Tab. 1.2: Fyzikální vlastnosti zemního plynu [8,14,18]

<sup>1</sup> Meze výbušnosti jsou udány pro směs zemního plynu se vzduchem.

Zemní plyn může být také nebezpečný, pokud dojde k jeho úniku. Není sice jedovatý, ale při takovéto situaci hrozí vysoké nebezpečí výbuchu. Detekce unikajícího plynu je o to těžší, že se jedná o nezapáchající látku. Před jeho vpuštěním do distribuční sítě se proto provádí tzv. odorizace, která spočívá v přidávání odorantu (například sirné obdoby alkoholů – merkaptanů nebo sulfidů) do zemního plynu. Odoranty mají nepříjemný zápach, který lze snadno rozpoznat čichem a únik zemního plynu se tedy objeví velmi snadno. Pro zjištění úniku se dále používají speciální měřicí přístroje. Při používání zemního plynu také musíme dbát na dostatečný přístup vzduchu k plameni. Pokud by nebyl dostatečný, po určité době by začalo docházet k nedokonalému spalování a vzniku značně jedovatého oxidu uhelnatého. Nedokonalé spalování pak můžeme rozpoznat dle barvy plamene, která by v normálním stavu měla být modrofialová. [8,12,15,16]



Obr. 1.2: Obrázek správně hořícího plynového plamene [12]

### 1.3 SVĚTOVÉ ZÁSoby, PRODUKCE A SPOTŘEBA

Dle odhadů je na Zemi celkem asi 520 tisíc miliard (520 bilionů, resp.  $520 \cdot 10^{12}$ ) metrů krychlových zemního plynu. Jejich životnost se odhaduje zhruba na 200 let. Tyto údaje jsou však poměrně zavádějící. Pro přesnější zhodnocení světových zásob je potřeba je rozdělit na zásoby prokázané (ověřené), které mohou být vytěženy za stávající ekonomické situace pomocí aktuálních technologií. Druhou skupinou jsou zásoby pravděpodobné, které jsou v podstatě dány rozdílem mezi celkovým odhadem zemního plynu na Zemi a prokázanými zásobami. V budoucnu se však budou pravděpodobně více uplatňovat zásoby potenciální z tzv. nekonvenčních zdrojů. Zde se jedná například o hydráty metanu, ale také břidlicový plyn, jehož těžba poměrně rychle stoupá. [8,19]

Vzhledem k jejich těžitelnému charakteru se zaměříme především na zásoby ověřené. Je pochopitelné, že údaje se liší v závislosti na zdroji. V této práci bude čerpáno z oficiálních statistik společnosti BP (dříve British Petroleum), což je jedna z největších světových firem zabývajících se těžbou a prodejem fosilních paliv. Její statistiky lze považovat za velmi přesné. Na základě těchto údajů si můžeme ukázat rychlost růstu ověřených světových zásob za poslední tři desetiletí. Tyto zásoby činily v roce 1993 celkem 118,4 bilionu  $\text{m}^3$ , v roce 2003

pak 155,7 bilionu m<sup>3</sup> a po dalších deseti letech to bylo 185,7 bilionu m<sup>3</sup> zemního plynu, což je hodnota celkových světových ověřených zásob zemního plynu platná ke konci roku 2013. Při současné těžbě by tyto zásoby vystačily přibližně do roku 2069. V budoucnu lze očekávat další nárůst prokázaných zásob, stejně tak ale i nárůst těžby. Velkou roli budou také hrát nekonvenční způsoby těžby zemního plynu. V tabulce 1.3 uvedeme země s nejvyššími ověřenými zásobami (konkrétně země, jejichž podíl je vyšší než 3 % světových zásob). [20]

Země	Množství ověřených zásob v bilionech m <sup>3</sup>	Procentuální podíl z celkových světových ověřených zásob
Írán	33,8	18,2 %
Ruská federace	31,3	16,8 %
Katar	24,7	13,3 %
Turkmenistán	17,5	9,4 %
Spojené státy americké	9,3	5,0 %
Saudská Arábie	8,2	4,4 %
Spojené arabské emiráty	6,1	3,3 %
Venezuela	5,6	3,0 %

Tab. 1.3: Země s nejvyšším množstvím ověřených zásob plynu [20]

S rostoucími nalezenými zásobami zemního plynu však roste i jeho těžba a spotřeba. Například v rozmezí let 2003 až 2013 vzrostla produkce téměř o 30 % z 2621,3 miliard m<sup>3</sup> (2621,3\*10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>) na 3369,9 miliard m<sup>3</sup>. Předpokládáme, že spotřeba rostla stejným tempem, v roce 2013 se celosvětově spotřebovalo 3347,6 miliard m<sup>3</sup> zemního plynu. Země s nejvyšší produkcí (nad 3 % celkové světové produkce) nalezneme v tabulce 1.4. V tabulce 1.5 jsou pak země s nejvyšší spotřebou (nad 3 % světové spotřeby) za rok 2013. Těchto zemí je méně, důvodem je rozdělení celkové spotřeby mezi více států. Například Evropa společně s Ruskou federací spotřebovávají téměř třetinu vytěženého plynu v daném roce a přidáme-li k nim ještě Severní Ameriku, dostanou se až na 60 %. Je potřeba také zmínit, že na spotřebu mají velký vliv průměrné roční teploty. [20]

Země	Množství vytěženého plynu v miliardách m <sup>3</sup>	Procentuální podíl z celkové světové těžby
Spojené státy americké	687,6	20,6 %
Ruská federace	604,8	17,9 %
Írán	166,6	4,9 %
Katar	158,5	4,7 %
Kanada	154,8	4,6 %
Čína	117,1	3,5 %
Norsko	108,7	3,2 %
Saudská Arábie	103,0	3,0 %

Tab. 1.4: Země s nejvyšší produkcí zemního plynu [20]

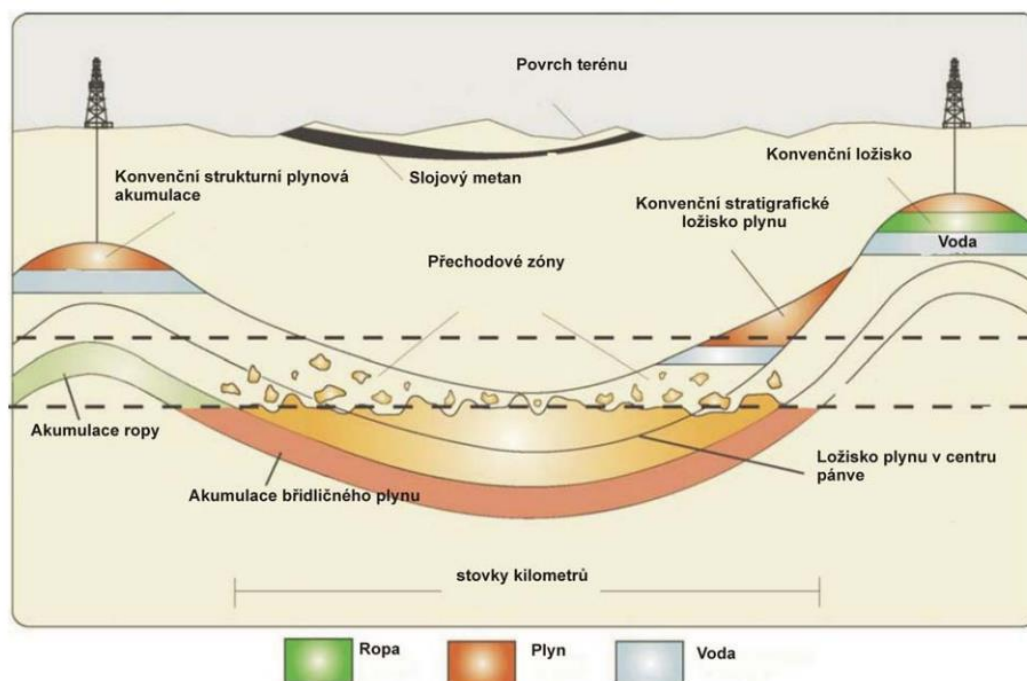


Země	Množství spotřebovaného ZP v miliardách m <sup>3</sup>	Procentuální podíl z celkové světové spotřeby
Spojené státy americké	737,2	22,2 %
Ruská federace	413,5	12,3 %
Írán	162,2	4,8 %
Čína	161,6	4,8 %
Japonsko	116,9	3,5 %
Kanada	103,5	3,1 %
Saúdská Arábie	103,0	3,1 %

Tab. 1.5: Země s nejvyšší spotřebou zemního plynu [20]

## 1.4 ZPŮSOB TĚŽBY A ÚPRAVA

Těžený zemní plyn je možné rozdělit podle výskytu na dva základní druhy. Ten, který se vyskytuje ve společném ložisku s ropou (naftový ZP), a karbonský zemní plyn vyskytující se v ložiscích s uhlím. [19]



Obr. 1.3: Těžba plynu z různých druhů ložisek [22]

Naftový zemní plyn se obvykle nachází v pórovitých horninách zachycený ve strukturních pastích, kde je jeho ložisko ohraničeno neprostupnou vrstvou a vodou. Vzhledem k jeho nízké hustotě stoupá k vrcholu pasti a je možné jeho navrtání a odtěžení. U naftového ZP je však nutné nejprve vytěžit ropu. Pokud se dříve odtěží plyn, tak v ložisku klesne tlak a tím se zvýší viskozita ropy, jejíž vytěžení je pak omezené. Zemní plyn se však může nacházet v samostatném ložisku pouze s vodou. U těchto ložisek se zavede vrt přímo na jeho vrchol. Karbonský zemní plyn se uvolňuje při těžbě uhlí a z bezpečnostních důvodů je

nutné ho z dolů odčerpávat. Existují však i jeho ložiska, kde se plyn těží účelově a dlouhodobě. [12,19]

Těžba u nekonvenčních zdrojů je výrazně náročnější. Například při těžbě břidlicového plynu se musí provést kromě vertikálního vrtu také vrt horizontální, aby došlo k odhalení větší části zdrojového objektu. Kvůli malé propustnosti břidlic je pak nutné tzv. hydraulické štěpení, při kterém se v hornině vytvářejí pukliny, kterými proniká plyn. [21]

Zemní plyn se těží jak na pevnině, tak i na moři (např. Severní moře). Na obrázku 1.3 je znázorněno uložení různých druhů plynů a jejich těžba. V příloze 1 je pak schéma produkce plynu v různých lokalitách.

Vytěžený zemní plyn pak můžeme dle složení rozdělit do čtyř skupin [12]:

- suchý ZP s vysokým obsahem metanu (nad 95 %) a malým množstvím vyšších uhlovodíků (energeticky nejvýhodnější), zejména se jedná o karbonský ZP
- vlhký ZP s větším obsahem vyšších uhlovodíků (zejména naftový ZP)
- kyselý ZP s vysokým obsahem sulfanu ( $H_2S$ )
- ZP s vyšším obsahem inertních plynů, zejména  $CO_2$  a  $N_2$

Před vpuštěním do distribuční sítě musí čerstvě vytěžený zemní plyn projít několika čistícími procesy. Jejich technologie je závislá především na složení plynu. Zejména je nutné odstranit látky, které mají negativní vliv na materiály distribuční sítě. Kvůli korozi se tedy odstraňuje voda a siričné látky (převážně u kyselého ZP). Je také třeba odstranit sušením čerstvě vytěženého plynu prach a jiné pevné částice, které by mohly způsobit závalu kompresorových stanic. [3,23]

Dle požadavků zákazníka a cílové destinace se pak plyn upravuje do stlačené (CNG – compressed natural gas) nebo zkapalněné (LNG - Liquefied Natural Gas). U CNG se zemní plyn stlačí na tlak 20 MPa, při převodu na LNG se zase plyn musí ochladit na  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Každá z těchto forem má své využití. [24]

## 1.5 PŘEPRAVA

Vzhledem k faktu, že ložiska zemního plynu nejsou rovnoměrně rozložena po Zemi, je nutné tuto surovinu dopravovat od nalezišť ke koncovým zákazníkům. Tyto trasy běžně mírají i přes 1000 km. V praxi existují dva základní typy přepravy. Jedním z nich je potrubí. Tento způsob se používá pro stlačený zemní plyn (o tlaku až 10 MPa) pro přepravu po souši, ale i po mořském dně (například od nalezišť v Severním moři). Dálkové plynovody mohou mít vnitřní průměr (světlost) až 1,4 m a za pomoci kompresorových stanic, které jsou zpravidla každých 100 km, se plyn pohybuje rychlostí až 80 km/h. Síť tranzitních plynovodů v Evropě je velmi rozlehlá, její zobrazení je v příloze 2. V příloze 3 jsou pak zakresleny hlavní zásobovací plynovody pro Evropu. Stavba zakreslených plánovaných plynovodů South Stream a Nabucco však byla prozatím zrušena.

Druhou možností je přeprava zkapalněného plynu tankery. Tento způsob přepravy má především tu výhodu, že dodavatelé jsou schopni přepravit větší množství plynu (zkapalněný plyn má asi 600krát menší objem než plyn stlačený) na velmi dlouhé vzdálenosti a do prakticky libovolné destinace (kam nevedou dálkové plynovody). Nevýhodou však je, že

samotné zkapalnění je energeticky náročné (10 až 15 % zkapalněného objemu nebo ekvivalentu jiné energie) a převoz je nutný v drahých kryogenních nádobách (na tankerech nebo pozemních cisternách), které udržují nízkou teplotu. Tohoto způsobu přepravy se používá především ke vzdáleným trhům, kde je LNG znovu zplynován a dále distribuován plynovody. Ukázka přepravního tankeru je na obrázku 1.4. [3,23,25,26]



Obr. 1.4: Tanker společnosti Azbil Corporation převážející LNG [27]

## 1.6 POUŽITÍ

Zemní plyn je v dnešní době strategickou surovinou, na které jsou závislé miliony lidí. Je to také dáno širokým spektrem jeho použití. Například pro domácnosti může být pomocí plynu zajištěno vytápění spolu s ohřevem užitkové vody pomocí kombinovaných kotlů a dále také vaření na plynových sporácích. To má své výhody i nevýhody, například na plynovém sporáku se může vařit i při výpadku elektrické energie, u vytápění to už ale není možné, protože kotle ke svému provozu elektřinu potřebují. V domácnosti pak lze zemní plyn využít i v rámci tzv. hybridních systémů, kde se kromě plynového kotle n ohřevu vody mohou podílet i sluneční kolektory. [2,31]

Výroba elektřiny pomocí zemního plynu není v České republice příliš výrazná (její podíl byl v roce 2013 přibližně 2 %), naproti tomu ve Spojených státech amerických to ve stejném roce bylo 27,4 %. Od počátku nového století však u nás postupně probíhá rozvoj tzv. kogeneračních (případně trigeneračních) jednotek, které jsou schopny současné výroby tepla a elektrického proudu ze zemního plynu (lze tak dosáhnout většího využití energetického potenciálu paliva). V posledních letech proběhla jejich minimalizace, takže existují již dostatečně malé jednotky pro použití ve větších rodinných domech. Zemní plyn lze k výrobě elektřiny použít také k zásobování palivových článků vodíkem. [31,32,33,34]

Další možností uplatnění zemního plynu (CNG, LNG) je v dopravě. Lze ho použít pro motory autobusů a osobních a nákladních aut. Ve světě se například sériově vyrábí asi 180 modelů aut na CNG a v provozu již je přes 22 milionů vozidel na ZP. V České republice to pak je 8 055 (konec roku 2014) z toho 518 autobusů. Tyto počty stále rostou. [35]

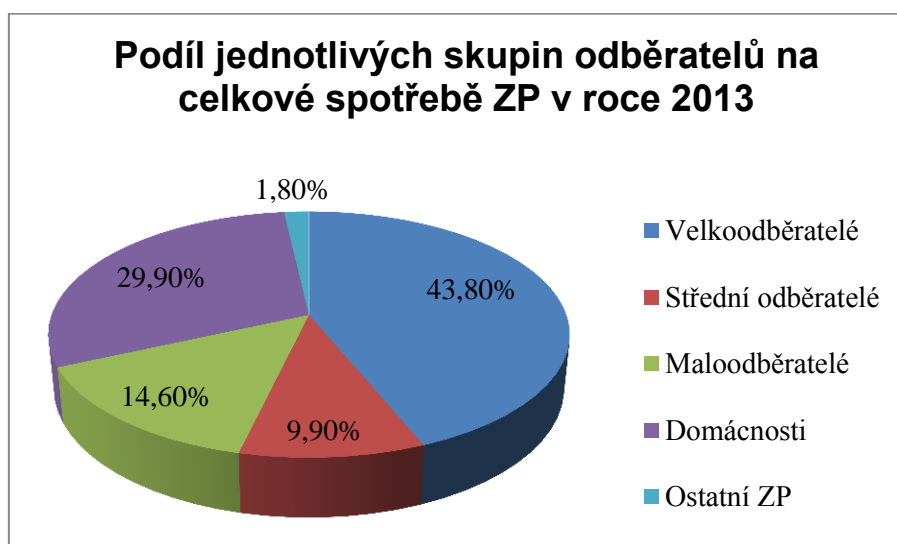
Zemní plyn lze dále využívat v technologických procesech v průmyslu a zemědělství, jako chemické suroviny atd. [31]

## 2 ZÁSBOVÁNÍ ČESKÉ REPUBLIKY ZEMNÍM PLYNEM

Vzhledem k tomu, že Česká republika se řadí mezi země, které disponují v porovnání se svou spotřebou velmi malými zásobami zemního plynu na svém území, je nutné tuto surovinu dovážet. Samotné zásoby konvenčního zemního plynu na našem území jsou v globálním měřítku naprosto zanedbatelné, jedná se přibližně o dvě tisíce procenta z ověřeného světového množství. Při současné průměrné roční spotřebě by to České republice stačilo přibližně na půl roku v závislosti na počasí a roční době.

### 2.1 SPOTŘEBA ZEMNÍHO PLYNU V ČR

Pro správné pochopení souvislostí v problematice zásobování naší země zemním plynem je nutné nejprve osvětlit situaci na českém trhu. Česká republika je z energetického hlediska značně závislá na zemním plynu, například v roce 2008 se podílel na energetickém mixu 18 %. Celkový počet odběratelů<sup>2</sup> dle výročních statistik Energetického regulačního úřadu (ERÚ) ke konci roku 2013 je 2 860 345. Procentuální podíl z celkové spotřeby plynu v České republice odebraný jednotlivými skupinami odběratelů je názorný z obrázku 2.1. Po předchozím nárůstu dochází od roku 2009 k postupnému snižování celkového počtu zákazníků. Tento zlom byl pravděpodobně způsoben vyvrcholením procesu liberalizace trhu, kdy si veřejnost začala uvědomovat možnost změny dodavatele plynu. Vliv na snížení počtu zákazníků také měla rostoucí cena plynu. V současné době cena plynu pohybuje zhruba kolem 1,46 Kč/kWh, tedy zhruba 15,5 Kč/m<sup>3</sup> (při orientačním přepočtu 1 m<sup>3</sup>=10,55 kWh), ovšem záleží na konkrétním dodavateli a odběru. Přestože je část ceny regulovaná energetickým regulačním úřadem, více než 70 % skladby cen je v režii dodavatelů. [36,37,38,39]

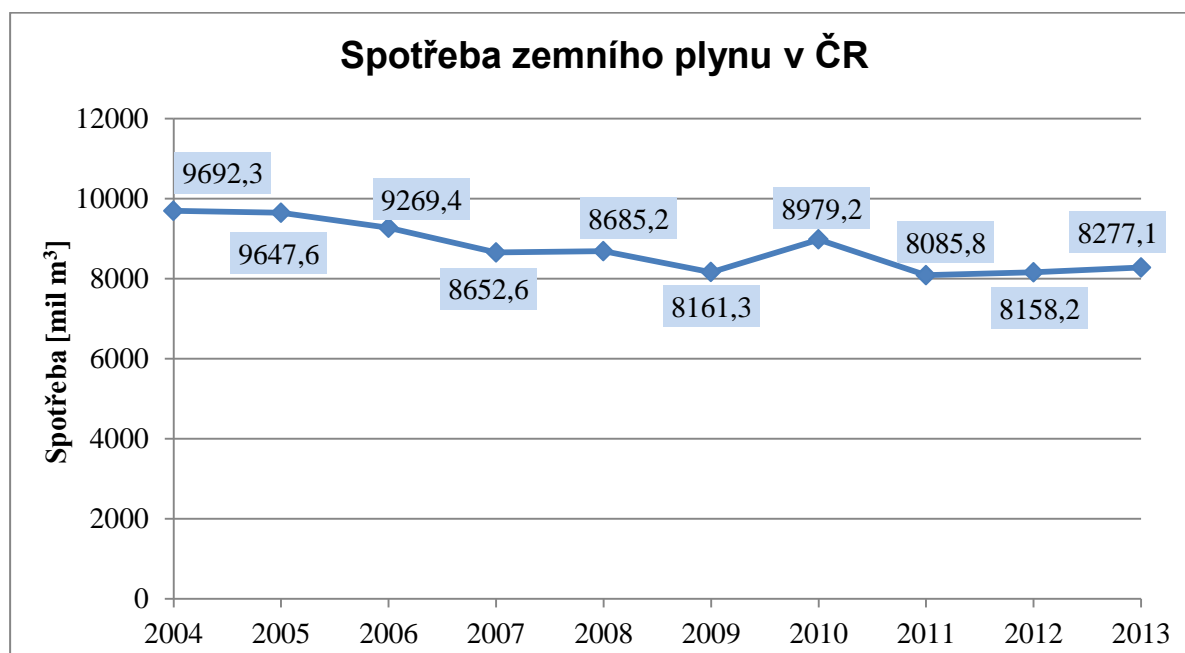


Obr. 2.1: Podíl jednotlivých skupin odběratelů na celkové spotřebě ZP (2013) [36]

<sup>2</sup> Z celkového počtu odběratelů je 1 637 velkoodběratelů, 6 946 středních odběratelů, 201 274 (7 %) maloodběratelů a 2 650 488 (92,6 %) domácností.

Celková spotřeba zemního plynu včetně započítání ztrát a změn akumulace činí 8 277,1 milionu  $\text{m}^3$  za rok 2013. Při přepočtu na energii se jednalo o 87 968,6 GWh, což je 1,5% nárůst oproti roku 2012. Ten byl z velké části ovlivněn uvedením paroplynové elektrárny v Počeradech do zkušebního provozu. Nárůst z tohoto důvodu se však bude týkat pravděpodobně jen roku 2013, protože po odzkoušení byla elektrárna odstavena z ekonomických příčin. Do podobných problémů se však dostává řada projektů v celé Evropě (například ve slovenských Malženicích). Důvody jsou především dva, první z nich je, že cena silové elektřiny se oproti plánům propadal na polovinu. Druhý důvod souvisí s těžbou břidlicového plynu ve Spojených státech amerických, ty tento plyn totiž začaly masivně používat pro výrobu elektrické energie, čímž vzniknul značný přebytek uhlí, které se levně vyváží do Evropy. I přes nutnost nákupu emisních povolenek se tedy více vyplatí provoz uhelných elektráren. Paroplynová elektrárna Počerady tak bude prozatím sloužit jako záložní zdroj. [36,40]

Z výše napsaného vyplývá, že v roce 2014 nelze očekávat zásadní nárůst, ale ani pokles spotřeby zemního plynu. Jasno bude až po zveřejnění statistik ERÚ za tento rok. Pokud se podíváme na dlouhodobější trend, pozorujeme od roku 2004 poměrně výrazný pokles spotřeby, který se víceméně zastavil v roce 2009. Část výkyvů ve spotřebě lze vysvětlit počasím v daném roce, rok 2013 byl například teplejší o 0,4 °C oproti normálu. Vývoj celkové spotřeby zemního plynu v České republice v období mezi lety 2004 až 2013 je patrný z obrázku 2.2. [36]



Obr. 2.2: Spotřeba zemního plynu na našem území mezi lety 2004 a 2013 [36]

## 2.2 DOVOZ ZEMNÍHO PLYNU

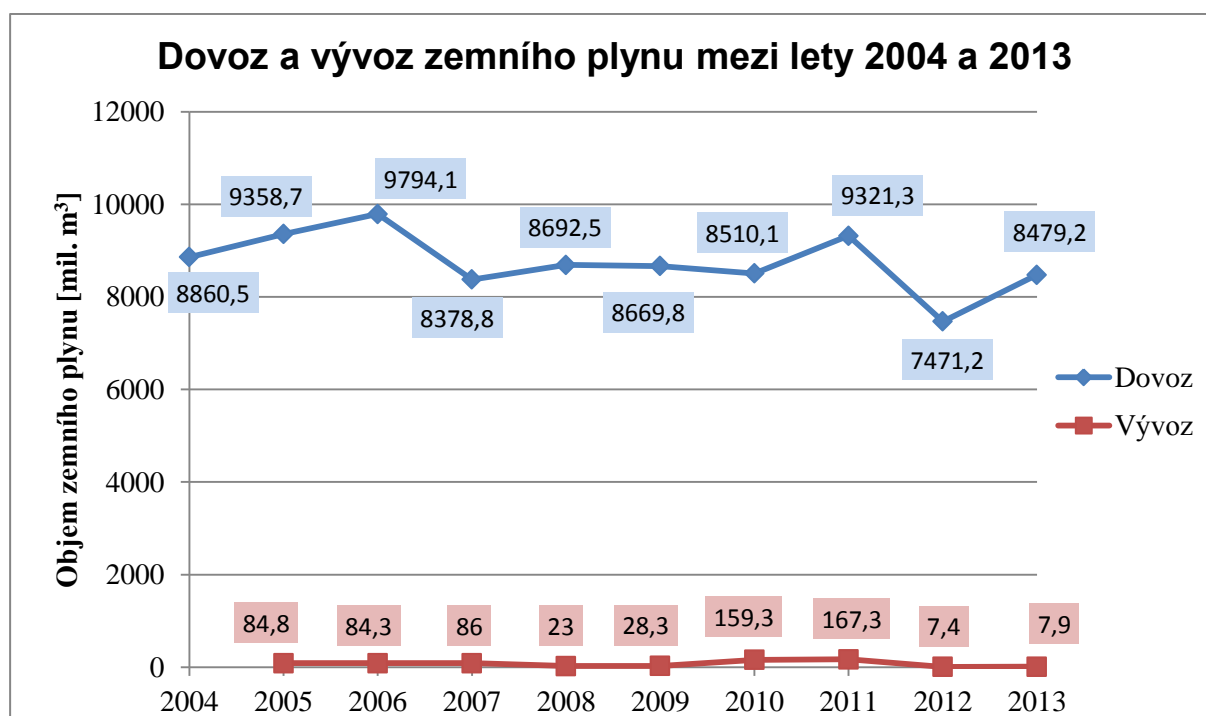
V souvislosti se zásobováním zemním plynem je Česká republika z více než 98 % závislá na jeho dovozu ze zahraničí. Pro vlastní potřeby naší země bylo v roce 2013 přivezeno celkem 8 479,2 milionu  $\text{m}^3$  zemního plynu, což je víc, než byla celková spotřeba za daný rok.

Rozdíl mezi těmito hodnotami je množství plynu, které zůstalo na území republiky, ale nebylo spotřebováno. Tento plyn se ukládá do podzemních zásobníků, kterých je na našem území celkem 8. Blíže budou probrány v kapitole 3. [36]

### 2.2.1 DOVOZNÍ A VÝVOZNÍ STATISTIKA

Přestože je Česká republika zemí s velmi malými ložisky zemního plynu, tak je také aktivní v jeho vývozu. Jedná se však o zanedbatelné množství v porovnání s dovozem. Vývoz v roce 2013 činil celkem 7,9 milionu m<sup>3</sup>, v energetickém ekvivalentu to bylo 85 GWh a směřoval do Polska, Slovenska a Rakouska. Tento údaj je potřebný jako položka do bilance plynárenské soustavy na našem území. Mnohem většího objemu však dosahuje dovoz plynu. Vývoj dovozu a vývozu plynu v období 2004 až 2013 je v obrázku 2.3. [36]

Svémi dodávkami je Česká republika závislá především na Ruské federaci, od níž odebírá 75 % veškerého plynu z dovozu. Zbylých 25 % pak připadá na norský plyn (rok 2013). Výjimkou jsou dodávky z jiných zemí. [41]



Obr. 2.3: Bilance dovozu a vývozu zemního plynu v období 2004-2013 [36]

### 2.2.2 ČESKÁ REPUBLIKA V RÁMCI EVROPSKÉ SÍTĚ

Při popisu zásobování České republiky zemním plynem je potřeba zmínit souvislost s evropskou sítí dálkových plynovodů. Ta je zobrazena v příloze 3 (hlavní dopravní plynovody) a v příloze 2, kde je znázorněna podrobnější evropská síť, včetně přístavů s terminály pro dovoz LNG. Do Evropy se zkapalněný plyn dováží například z Alžírsko nebo Kataru, v budoucnu se pak očekává výrazný nárůst dovozu LNG pro Evropu, kdy bude možný dovoz z USA a Austrálie. Naši země by se pak mohlo týkat otevření terminálu v polském Svinoúšti, které je plánováno již na rok 2015. [42]



V současné době je však zásobování naší země závislé výhradně na použití dopravních plynovodů přímo od nalezišť. Za normální situace (tedy mimo krátkých období plynových krizí v letech 2005 až 2010) se veškerý plyn kupovaný z Ruské federace dodává plynovodem Bratrství. Má kapacitu až 100 miliard  $\text{m}^3$  zemního plynu ročně. Byl postaven již v roce 1967 a přivádí plyn z nalezišť na Sibiři přes Ukrajinu na Slovensko, kde se rozděluje na dvě části. Jedna vede do Rakouska, odkud dále zásobuje jižní Evropu, druhá pokračuje tranzitním plynovodem Transgas přes Českou republiku. Tato větev slouží k zásobování střední a západní Evropy. [42,43]

Naše země tak díky své poloze slouží k tranzitu zemního plynu dále do Evropy. Například v roce 2013 byl na území České republiky přiveden plyn o celkovém objemu 43,5 miliardy  $\text{m}^3$ , z čehož však 35,1 miliardy  $\text{m}^3$  bylo určeno pro zahraničí. [36]

V případě výpadku plynovodu Bratrství je možné použít zpětný tok plynu z Německa, které je ruským plynem zásobováno novým podmořským plynovodem Nord Stream (spuštěn 2011, vede Baltským mořem) a také plynovodem Jamal. Z Německa k nám také proudí plyn zakoupený od Norska. Budoucí situaci zásobování plynem může změnit výstavba nových dálkových plynovodů. Projektů je celá řada, avšak je těžké odhadovat, které z nich se dočkají realizace a které budou zrušeny, jak se stalo u plánovaných plynovodů Nabucco, který měl přivádět plyn přes Turecko z nalezišť u Kaspického moře, a South Stream (ruský plyn přes Černé moře a Balkán). Další aktuální projekt je plynovod Mozart na propojení české a rakouské sítě plynovodů. [42,43]

### 2.2.3 VNITROSTÁTNÍ SÍŤ

Vzhledem k velkému počtu odběratelů zemního plynu musí Česká republika mít rozsáhlou síť plynovodů všech úrovní. Celková délka všech plynovodů na našem území činí 65 165,67 km ke konci roku 2013. Páteří tohoto systému jsou tranzitní plynovod a hlavní vnitrostátní plynovody. Jejich trasy jsou zakresleny v obrázku 2.4. Tranzitní plynovod se na našem území rozděluje na severní a jižní větev, které jsou pak znovu propojeny dvěma plynovody. Jedním z nich je plynovod Gazela, který byl zprovozněn v roce 2013. Schéma provozu plynárenské soustavy je v příloze 4. [36,44]

Výhradním provozovatelem přepravní soustavy (PPS) na našem území je společnost NET4GAS, s.r.o., která je držitelem výlučné licence pro přepravu plynu přes a do ČR. Pod její správu tedy spadá tranzitní plynovod a část vnitrostátní sítě. Od této společnosti pak plyn přebírají provozovatelé distribučních soustav (PDS), kterých je celkem 7. Konkrétně pak Pražská plynárenská Distribuce, a.s., RWE GasNet, s.r.o., VČP Net, s.r.o., JMP Net, s.r.o., SMP Net, s.r.o., E.ON Distribuce, a.s., Green Gas DPB, a.s.. PDS jsou také hlavními prodejci plynu zákazníkům ve svých oblastech působení. [36,44,45]

Nyní se tato práce zaměří na hlavní zásobovací trasy. Veškerý zemní plyn, který se dostane plynovodem na naše území, nejprve prochází přes hraniční předávací stanice (HPS), ve kterých je plyn objemově a kvalitativně měřen. Nejdůležitějšími jsou HPS Lanžhot (hranice se Slovenskem), kudy k nám proudí plyn z plynovodu Bratrství, HPS Hora sv. Kateřiny, kde se setkávají plynovody tří plynárenských společností, a HPS Brandov, která navazuje na plynovod OPAL (přivádí plyn z Nord Streamu). Poslední dvě jmenované HPS spojují českou a německou síť a umožňují i zpětný tok. [44]



Obr. 2.4: Mapa přepravní soustavy na území ČR [44]

Důležitými body přepravní soustavy jsou kompresní stanice, které dodávají plynu požadovaný tlak. Tyto stanice jsou na přepravní soustavě 4 (KS Břeclav, KS Kralice, KS Veselí nad Lužnicí a KS Krouřim). Jejich celkový instalovaný výkon pro přepravu je 243 MW. [44]

## 2.3 TĚŽBA ZEMNÍHO PLYNU NA NAŠEM ÚZEMÍ

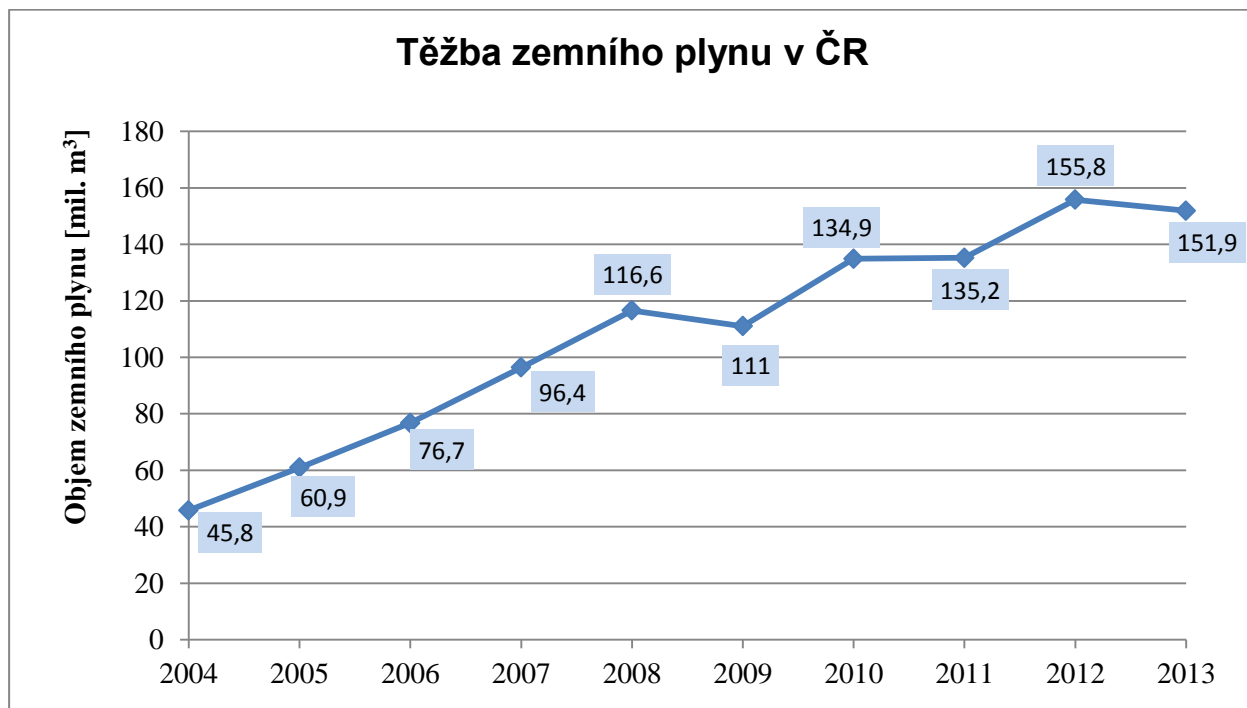
Česká republika je schopna část své roční spotřeby plynu pokrýt těžbou z vlastních nalezišť. Například v roce 2013 bylo na našem území vytěženo celkem 151,9 milionu  $\text{m}^3$  zemního plynu<sup>3</sup>, což bylo asi 1,8 % celkové roční spotřeby. Bilance těžby plynu na našem území v posledních 10 letech je uvedena v obrázku 2.5. [36]

Důvodem takto tohoto stavu těžby je především nízký stav celkových zásob na našem území. Ty vytěžitelné činí jen asi 5,5 miliardy  $\text{m}^3$  zemního plynu, což jsou přibližně dvě třetiny roční spotřeby. Budeme-li uvažovat jen konvenčně těžený zemní plyn, lze na základě těchto údajů předpokládat, že v budoucnu bude produkce na našem území nejspíše stagnovat.

Dle údajů z roku 2013 Česká republika disponuje 96 ložisky zemního plynu, přičemž těžba probíhá ve 40 z nich. Tato ložiska se nachází v oblastech vyznačených na obrázku 2.6. Těžbu provádí 4 společnosti: MND a.s. u Hodonína, Green Gas DPB, a.s. u Paskova, LAMA GAS & OIL s.r.o. u Hodonína a Unigeo a.s. v lokalitě Ostrava – Hrabová. [46]

<sup>3</sup> Údaje o těžbě na našem území se mohou z různých zdrojů lišit. Například dle České geologické služby se v roce 2013 na našem území vytěžilo 207 milionů  $\text{m}^3$  zemního plynu. Tento rozdíl je patrně způsoben kritériem hodnocení. Česká geologická služba zřejmě do svého údaje zahrнула i zemní plyn, který byl odčerpán z dolů při těžbě uhlí. V této práci jsou v souvislosti s Českou republikou použita data především Energetického regulačního úřadu, který při bilanci soustavy počítá s konvenčně vytěženým zemním plynem.





Obr. 2.5: Těžba zemního plynu v ČR v letech 2004 až 2013 [36]

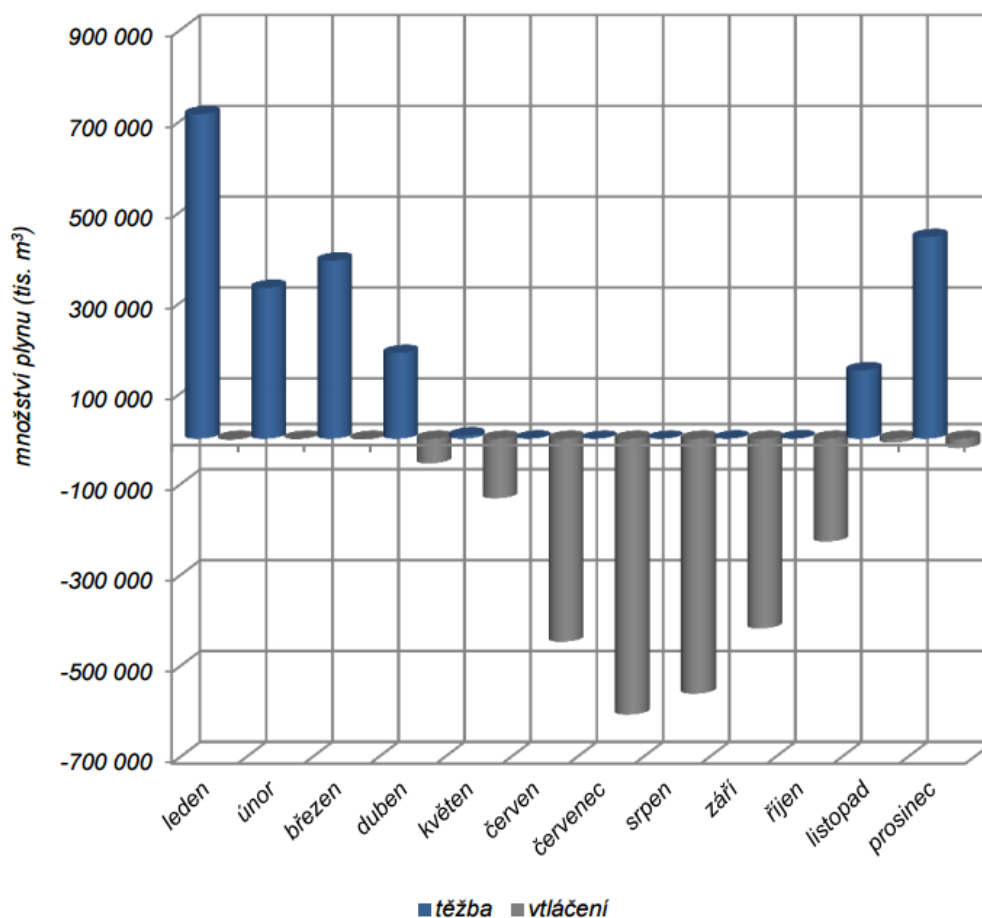


Obr. 2.6: Oblasti, kde se nachází ložiska zemního plynu v ČR [50]

### 3 AKUMULACE ZEMNÍHO PLYNU NA NAŠEM ÚZEMÍ

K akumulaci zemního plynu se používají podzemní zásobníky (PZP). Především se jedná o zásobníky na stlačený zemní plyn, avšak existují také zásobníky pro LNG. PZP se v zásadě dají prezentovat jako umělá ložiska plynu, který se může v případě potřeby velmi rychle odtěžit. Po každém odčerpání plynu následuje proces vtlačení, při kterém je do zásobníku nahnán nově přivedený plyn, aby se tak obnovila jeho uskladněná kapacita.

Hlavními důvody provozování zásobníků je především sezonní vyrovnávání, kdy zásobníky mají za úkol poskytnout dostatek zemního plynu při zvýšené spotřebě, především během zimních měsíců. Jakmile se potřeba sníží (v letních měsících), tak se do zásobníků plyn vtlačí. Tento proces lze dobře pozorovat za pomoci reálných dat z roku 2013 na obrázku 3.1. S tímto souvisí také množství uloženého plynu v jednotlivých měsících, které je zobrazeno v příloze 5. PZP mají také význam z hlediska bezpečnosti zásobování, kdy nahrazují zahraniční dodávky v případě jejich výpadku. Zásobníky mají dále uplatnění při pokrývání špiček spotřeby, optimalizaci provozu a využívání přepravní soustavy a v rámci cenové politiky, kdy je možné do nich uložit levně zakoupený plyn a využívat ho do doby, než ceny opět poklesnou na požadovanou úroveň. [25,51]



Obr. 3.1: Využití PZP v jednotlivých měsících roku 2013 [36]

Zásobníky můžeme dle různých kritérií rozdělit do několika skupin. Podle způsobu jejich využití je dělíme na sezónní a špičkové. Sezónní zásobníky mají za úkol dodávat plyn především v zimních měsících, zatímco v letních měsících se do nich plyn vtlačí. Špičkové zásobníky zase vyrovnávají krátkodobé výkyvy ve spotřebě v řádu dní. Jejich rychlost těžby a vtlačení je tedy obecně větší. Možné je také dělení z hlediska prostředí, ve kterém se nacházejí, na zásobníky v porézním a puklinovém prostředí a na zásobníky v neporézním prostředí. Prvně jmenované se nacházejí především ve vytěžených ložiscích zemního plynu. Zásobníky v neporézním prostředí se pak nacházejí především v důlních prostorech nebo solných kavernách. Obecně platí, že tyto zásobníky slouží jako špičkové. [25]

Na základě pravidel Evropské unie musí každá země mít k dispozici zásoby plynu, které pokryjí alespoň 20 % dodávek pro domácnosti, klíčové instituce a vybrané podniky mezi 30. zářím a 1. dubnem. Tento závazek Česká republika splňuje více než dostatečně. Na našem území se v současnosti nachází 8 funkčních zásobníků a dva jsou ve výstavbě. Kapacita<sup>4</sup> těchto zásobníků, sloužících pro potřeby České republiky, je 2 976 milionů m<sup>3</sup>, což odpovídá přibližně 36 % procentům celkové roční spotřeby našeho státu. V tomto ohledu je naše země jednou z nejlepších v Evropě. Mapa České republiky s vyznačenými zásobníky je na obrázku 3.2. V minulosti však byla využívána i část kapacity PZP Rehden v Německu (2004 – 2005) a PZP Láb ve Slovenské republice (2004 – 2009). [25,36,51,52]



Obr. 3.2: Mapa PZP v České republice [41]

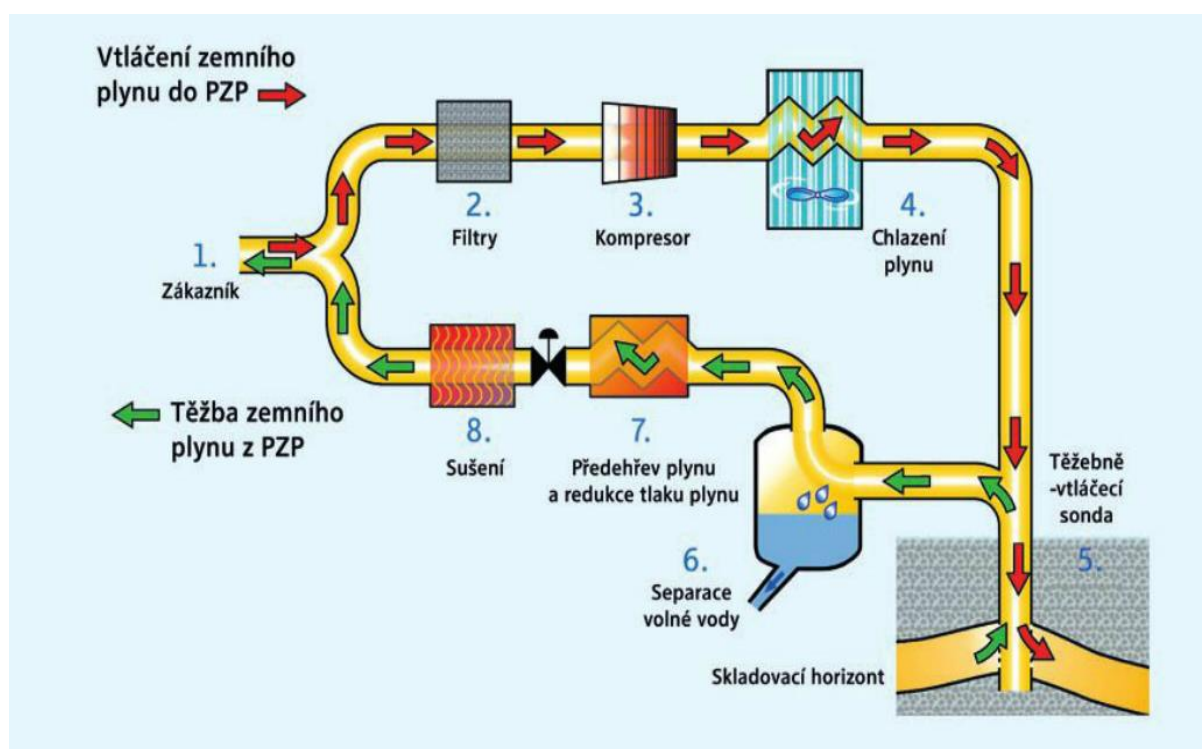
<sup>4</sup> Do celkové kapacity zásobníků na našem území je potřeba dále připočíst kapacitu PZP Dolní Bojanovice, která je 576 milionů m<sup>3</sup>. Důvodem je, že tento zásobník slouží pro potřeby Slovenské republiky. [53]

Vyhodnocení uskladněného plynu v roce 2013 pro potřeby České republiky je uvedena v tabulce 3.1. Lze pozorovat, že v roce 2013 došlo k nárůstu uskladněného plynu o přibližně 246,6 milionu m<sup>3</sup>.

Položka	Množství ZP [tis. m <sup>3</sup> ]
Těžba ze zásobníků	2 231 349
Vtláčení do zásobníků	-2 477 417
Bilanční rozdíl <sup>5</sup>	-528
Stav zásob k 31. 12. 2013	2 168 122
Stav zásob k 31. 12. 2012	-1 921 526
Rozdíl	246 596

Tab. 3.1: Vyhodnocení uskladněného plynu v PZP v České republice (2013) [36]

Princip činnosti a jednotlivé technologické procesy při těžbě a vtláčení do PZP jsou znázorněny na obrázku 3.3.



Obr. 3.3: Princip činnosti podzemního zásobníku plynu [51]

<sup>5</sup>V bilančním rozdílu jsou zahrnuty geologické ztráty, navýšení skladovacích zásob a vlastní spotřeba.

### 3.1 POPIS ZÁSObNÍKŮ

Z osmi zásobníků na našem území, které jsou momentálně v provozu, jich je šest provozováno společností RWE Gas Storage, s.r.o. Konkrétně se jedná o zásobníky Háje, Dolní Dunajovice, Tvrdonice, Lobodice, Štramberk a Třanovice. RWE GS tyto zásobníky slučuje do jednoho virtuálního o celkové kapacitě 2 696 milionů  $\text{m}^3$ , což je přibližně třetina celkové roční spotřeby České republiky. Maximální těžební výkon tohoto virtuálního zásobníku je 40,2 milionu  $\text{m}^3$  za den a maximální vtláčecí výkon je 29,5 milionu  $\text{m}^3$  zemního plynu za den. [51,54]

Druhou společností, provozující zásobníky na našem území, je společnost MND Gas Storage a.s. Ta momentálně disponuje jedním funkčním zásobníkem ( PZP Uhřice) a jeden právě buduje (PZP Dambořice). Jeden zásobník u nás provozuje také společnost SPP Storage, s.r.o. [52,53]

Popis jednotlivých zásobníků za použití zdrojů [1,51,52,53,54,55,56,57]:

- **PZP Háje**

Podzemní zásobník plynu Háje u Příbrami je jediným špičkovým a zároveň i jediným kavernovým zásobníkem u nás. Jedná se také o první komerčně využívaný zásobník v krystalických strukturách. K jeho výstavbě bylo použito šachet bývalých uranových dolů. Samotný zásobník se však kvůli možnému znečištění a radiaci nenachází přímo v šachtě, ale uměle vyražen v žulovém masivu. Nachází se v hloubce necelého jednoho kilometru a je tvořen soustavou chodeb se spádem 5‰ a profilem od 12 do 15  $\text{m}^2$ . Jejich celková délka je 45 066 m. Tyto chodby byly ponechány bez povrchové úpravy s výjimkou míst, kde byly pro zpevnění postaveny výztuže. Celkový objem tohoto prostoru je 620 tisíc  $\text{m}^3$ , což poskytuje místo pro přibližně 64 milionů  $\text{m}^3$  stlačeného zemního plynu. Kapacitně je tento zásobník u nás nejmenší. Jeho hlavními úkoly je poskytovat dostatek plynu pro Prahu a okolní průmyslová centra. Do provozu byl uveden v roce 1998.

- **PZP Dolní Dunajovice**

PZP Dolní Dunajovice leží asi 6 km severně od Mikulova v katastrech obcí Dolní Dunajovice, Horní Věstonice a Březí. Jedná se o zásobník uložený v porézní hornině, pro který bylo využito vytěžené ložisko zemního plynu v průměrné hloubce 1050 m. Zásobník byl uveden do provozu v roce 1989 s cílovou kapacitou 700 milionů  $\text{m}^3$ . Tato kapacita byla však v roce 2005 navýšena na 860 milionů  $\text{m}^3$  zemního plynu s těžebním výkonem 15,5 milionu  $\text{m}^3$  za den. S těmito parametry je PZP Dolní Dunajovice největším a nejvýkonnějším zásobníkem u nás. V budoucnu pravděpodobně také největším zůstane. Výkonově by ho měly překonat nově plánované zásobníky.

- **PZP Lobodice**

Nachází se poblíž obce Lobodice, asi 13 km jihozápadně od Přerova. Je to jediný zásobník tzv. aquiferového typu u nás. Tento název poukazuje na skladbu hornin v místech, kde se zásobník nachází. Jedná se totiž o porézní horniny, ve kterých se zadržuje mnoho vody a plní tak zároveň funkci podzemních rezervoárů. Pro získání prostoru na zásoby plynu je nutné vodu uměle odtlačit do nižších vrstev této horniny.

Zásoby plynu jsou v hloubce 400 až 500 metrů. PZP Lobodice je také nejstarším zásobníkem na našem území. Byl otevřen již v roce 1965 a zpočátku sloužil jako zásobník na svítiplyn. Záměna za zemní plyn proběhla v roce 1990 a celková přestavba skončila o 5 let později, kdy došlo k likvidaci starých technologií pro svítiplyn. Kapacita zásobníku je asi 100 milionů  $\text{m}^3$  a těžební výkon dosahuje 3,3 milionu  $\text{m}^3$  za den.

- **PZP Štramberk**

Tento zásobník se nachází v katastrech obcí v okolí Nového Jičina, Štramberku a Kopřivnice. Nadzemní část leží asi 2 km jihovýchodně od Štramberku. Jedná se o zásobník v porézním prostředí, který využívá částečně vytěžené ložisko zemního plynu Příbor-jih. Prostor pro skladování plynu leží v hloubce 500 až 690 metrů pod povrchem na ploše asi 45  $\text{km}^2$ . Stavba probíhala v letech 1981 – 1983, kdy bylo odvrtno několik nových provozních sond a byla postavena nadzemní část. Další modernizace proběhla před rokem 2000.

- **PZP Třanovice**

Nachází se 4 – 14 km od Českého Těšína. Je to další z porézních zásobníků vybudovaných na bývalém ložisku zemního plynu. Ložisko leží v průměrné hloubce 450 metrů pod povrchem a dělí se na čtyři části: Nové pole, Západní pole, Čočka a Staré pole. Stavba byla zahájena v roce 1994. V letech 2009 – 2012 byl za spolufinancování Evropskou unií zmodernizován. Tím bylo dosaženo celkové kapacity 530 milionů  $\text{m}^3$  a těžebního výkonu až 8 milionů  $\text{m}^3$  za den.

- **PZP Tvrdonice**

Podzemní zásobník plynu Tvrdonice zasahuje do katastru obcí Tvrdonice, Kostice, Hrušky a Týnec nedaleko města Břeclav. Byl to první zásobník na našem území, projektovaný přímo pro skladování zemního plynu. Zároveň je prvním zásobníkem, jehož skladovací prostor vzniknul v místech odtěženého přírodního ložiska uhlovodíků (zde konkrétně v částečně vytěženém ropo-plynovém ložisku Hrušky). Uveden do zkušebního provozu byl v roce 1973. Samotné skladiště plynu je rozděleno do tří obzorů, ležících v hloubkách 1 100, 1 250 a 1 600 metrů pod povrchem. Původní kapacita byla 435 milionů  $\text{m}^3$ . V průběhu let zásobník prošel několika modernizacemi. Poslední z nich začala v roce 2009 a byla spolufinancována Evropskou unií. Měla za úkol rozšíření skladovací kapacity o 160 milionů  $\text{m}^3$ . Zajímavostí je, že některé objekty ložiska Hrušky jsou stále využívány i pro samotnou těžbu plynu.

- **PZP Uhřice**

Ve skutečnosti se na Hodonínsku v okolí obce Uhřice nachází dva podzemní zásobníky. Oba byly vybudovány v prostorech bývalých ložisek zemního plynu. Struktura Uhřice byla uvedena do provozu v roce 2001 a její kapacita je 180 milionů  $\text{m}^3$ . V roce 2012 pak byla uvedena do provozu struktura Uhřice JIH s kapacitou 100 milionů  $\text{m}^3$ . Společně tvoří virtuální zásobník o kapacitě 280 milionů  $\text{m}^3$ , těžebním výkonu 12 milionů  $\text{m}^3$  a vtlácném výkonu 5,4 milionu  $\text{m}^3$  za den. Uvádění do provozu je ale postupné, těchto parametrů by měl zásobník dosáhnout v roce 2019. V roce 2015 je provozní objem 245 mil.  $\text{m}^3$ , těžební výkon 9,1 mil.  $\text{m}^3$  a vtláčný výkon 5,1 mil.  $\text{m}^3$ . Provozovatelem je společnost MND Gas Storage a.s.



- **PZP Dolní Bojanovice**

Podzemní zásobník u dolních Bojanovic se skládá ze čtyř samostatných objektů v hloubkách od 700 do 2100 metrů a byl vybudován v roce 1999. Jedná se o bývalá ložiska zemního plynu a ropy. Celková kapacita všech objektů je 579 mil. m<sup>3</sup>, denní těžební výkon může dosáhnout až 9 mil. m<sup>3</sup> a vtláčkový výkon je 7 mil. m<sup>3</sup> za den. Provozovatelem je společnost SPP Storage, s.r.o. Kapacita zásobníku však slouží pro potřeby Slovenské republiky a není proto uvažován do bilance plynárenské soustavy naší země.

## 3.2 PLÁNOVANÉ ZÁSObNÍKY

V České republice v současnosti dochází k výstavbě dalších dvou zásobníků. Cílem je dosáhnout kapacity odpovídající 40 % celkové roční spotřeby.

Popis plánovaných zásobníků [58,59,60,61]:

- **PZP Dambořice**

Tento zásobník je společným projektem společností MND Group a Gazprom. Vznikne v bývalém ložisku zemního plynu. Plánované parametry: kapacita 448 mil. m<sup>3</sup>, těžební výkon 7,5 mil. m<sup>3</sup>/den a vtláčkový výkon 4,5 mil. m<sup>3</sup>. V provozu by měl být od roku 2016. Většina jeho kapacity však bude sloužit pro potřeby společnosti Gazprom.

- **PZP Rožná**

Po otevření se bude jednat o druhý kavernový zásobník na našem území. Prostor pro zásoby plynu je vyrážěn v migmatickém (žulovém) masivu u uranového dolu Rožná, který k tomuto masivu poskytl dobrý přístup. Plyn by měl být skladován ve dvou kavernách o kapacitě 100 a 80 mil. m<sup>3</sup>. Zásobník je projektován jako superrychlý (špičkový), jeho charakteristikou tedy je vysoký těžební (22,5 mil. m<sup>3</sup>/den) a vtláčkový (18 mil. m<sup>3</sup>/den) výkon. Při profilu 12 m<sup>2</sup> je plánována celková délka chodeb 62 703 m. Zprovozněn by měl být v roce 2018. Investorem je společnost GSCeP, a.s. ze skupiny CE Group (kam patří mimo jiné také Česká plynárenská a České plynovody).

Skupina Lama Group také pracuje na projektu podzemního zásobníku u Břeclavi o plánované kapacitě 100 mil. m<sup>3</sup>. [62]

## 4 MOŽNOSTI NÁHRADY ZEMNÍHO PLYNU

Zemní plyn se řadí mezi neobnovitelné zdroje energie. Jeho množství je tedy omezené a je třeba se zabývat jeho případnou náhradou. Vzhledem k rozsáhlosti a zavedenosti plynárenské sítě by bylo ideální najít jiný zdroj zemního plynu nebo plynu, který by byl na bázi metanu a mohl by konvenční zemní plyn v síti nahradit. Další možností je upustit od plynového zázemí a přejít na jiný druh paliva. V úvahu již nepřipadá náhrada zemního plynu jiným fosilním palivem, například uhlím. Z toho také vyplývá současná snaha co nejvíce zvýšit podíl obnovitelných zdrojů energie. Některé možnosti náhrady současných zdrojů zemního plynu a zemního plynu obecně budou následně podrobněji popsány.

### 4.1 NEKONVENČNÍ ZDROJE ZEMNÍHO PLYNU

V současné době prakticky veškerý zemní plyn pochází z konvenčních ložisek (výjimkou jsou Spojené státy americké, kde velmi rychle roste podíl břidlicového plynu), tedy z ložisek, ve kterých se zemní plyn nachází v hornině, která umožňuje jeho migraci a hromadění za velkého tlaku pod strukturní pastí. Tato past se navrtá a plyn proudí do vrtu pod tlakem. Tento typ ložisek je reprezentován především společným výskytem zemního plynu s ropou nebo uhlím. V oblastech s vysokými tlaky a teplotou se však může nacházet i samostatný zemní plyn s vodou. [3,22,63]

Otázkou zůstává, jak tato ložiska nahradit. Jednou z možností je právě těžba plynu z nekonvenčních ložisek. Výhodou je, že se stále jedná o zemní plyn, je tedy možné ho v závislosti na složení použít v plynárenské síti. Možný rozsah jeho použití už záleží na složení plynu z konkrétního ložiska. To však platí i o současném zemním plynu z různých nalezišť, kdy se složení liší, například Holandský zemní plyn má o 17 % menší obsah metanu než tranzitní plyn, jeho použití je pak omezené. [14]

Charakteristickým znakem nekonvenčních (netradičních) ložisek je, že zdrojová hornina slouží zároveň jako rezervoár a neumožňuje plynu migraci do vyšších poloh v ložisku, odkud by ho bylo možno vytěžit konvenčním způsobem. To je jejich nevýhodou, protože proces těžby plynu pak je technicky a zároveň i ekonomicky náročnější. Mezi tento typ ložisek se řadí především ložiska v nízkopropustných pískách, břidlicový plyn, plyn z uhelných slojí a hydráty metanu. [22,63]

V porovnání s konvenčními ložisky se ta nekonvenční rozkládají na velké ploše, často i tisíce až desetitisíce kilometrů čtverečních, a jejich obsah plynu v porovnání s objemem horniny, ve kterém se nachází, je velmi malý. Nekonvenční ložiska také mají vzájemně velmi rozdílné parametry (tlakové, teplotní, apod.), proces těžby je tedy individuální. Jednotlivé typy nekonvenčních ložisek budou následně stručně popsány. [22,63]

#### 4.1.1 PLYN Z NÍZKOPROPUSTNÝCH PÍSKŮ

Tento typ zemního plynu se vyskytuje v nízcě porézních pískovcích nebo karbonátech, do kterých migroval z místa svého vzniku v průběhu několika milionů let. Díky velmi nízké propustnosti těchto hornin je plyn zachycen v pórech a nemůže migrovat. Jeho těžba je tedy o mnoho náročnější, protože plyn je rozložen do velmi rozsáhlých objemů horniny bez



možnosti pohybu. Řešením pro těžbu je způsobit v hornině malé pukliny, kterými by se plyn mohl dostávat k vrtu, a následně jej odsát. Specifickou vlastností vrtů při tomto způsobu těžby je jeho horizontální vedení v konečné fázi. Důvodem je, že pukliny v hornině, obsahující plyn, jsou umístěny vertikálně. Při horizontálním vrtu tedy dojde k propojení většího množství puklin a tedy i uvolnění většího množství plynu. [22,63,65]

K tomuto procesu se v praxi využívá tzv. hydraulické štěpení (frakování), které spočívá ve vhánění velkého množství frakovací směsi do ložiska za účelem vytvoření puklin, kterými bude moci proudit těžený plyn. Frakovací směs se skládá z vody s propantovým pískem (dohromady asi 99,5 % objemu směsi) a množství chemických přísad. Bližší složení této směsi je individuální pro každé ložisko. Na jedno frakování se může spotřebovat až 15 000 m<sup>3</sup> vody s pískem a 70 tun chemikálií. Po dokončení štěpení se část směsi odčerpá a začíná se těžit plyn, který je již schopný pohybu. [22,63,65]

Tato metoda je však velmi často diskutována ohledně dopadu na životní prostředí. Při tomto typu těžby totiž může dojít ke kontaminaci vody i okolního prostředí chemikáliemi, obsaženými ve frakovací směsi. Vede se také debata o zvýšené seismické aktivitě v oblastech, kde probíhá těžba za pomoci hydraulického štěpení. Kvůli těmto hrozbám také mnohé země zastavily snahy o těžbu plynu těženého touto metodou, mezi nimi i Česká republika. [65]



Obr. 4.1: Lokace nekonvenčních ložisek plynu ve světě [64]

Na obrázku 4.1 je zobrazeno světové rozložení ložisek plynu z nízkopropustných písků společně s dalšími druhy nekonvenčních ložisek. Odhadované světové zásoby plynu v těchto ložiskách z nízkopropustných písků jsou 300 až 500 bilionů m<sup>3</sup>. Za současné ekonomicko-technologické situace je však reálně vytěžitelných jen asi 50 bilionů m<sup>3</sup>. [66]

#### 4.1.2 BŘIDLICOVÝ PLYN

Charakteristika uložení i způsob těžby plynu z ložisek je obdobný jako u plynu z nízkopropustných písků, tedy těžba s využitím hydraulického štěpení. Rozdílem je, že tento plyn vzniknul a těží se v nízkopropustných jílovcových horninách (břidlicích). Jako břidlice se označují horniny, které vznikly usazením bahna s organickým materiálem na dně prehistorických moří. Některé parametry těžby jsou však přibližně stejné jako u konvenčních ložisek zemního plynu, například hloubka ložiska pod povrchem, objem a rychlost těžby a způsob vrtání, který může být vertikální, častěji je ale konečná část vedená horizontálně. [22]

V posledních pěti letech došlo k výraznému nárůstu těžby plynu z těchto ložisek. Především ve Spojených státech amerických, kde rozvoj těžby břidlicového plynu ovlivnil energetický mix ve prospěch využití plynu jako paliva v elektrárnách. Ještě v roce 2008 pocházelo ve Spojených státech z břidlicových ložisek asi 60 miliard  $\text{m}^3$  plynu, v roce 2013 to už bylo téměř 325 miliard  $\text{m}^3$ , což tvořilo necelých 44 % jejich celkové roční spotřeby a očekává se další nárůst. Prokázané zásoby břidlicového plynu v USA jsou 4,5 bilionu  $\text{m}^3$ . V Evropě je využití břidlicového plynu teprve v počátcích, nejaktivnější je Polsko, které má také největší předpokládané využitelné zásoby o objemu 4,1 bilionu  $\text{m}^3$ . V České republice bylo objeveno 5 ložisek břidlicového plynu, jeho těžba se ale zatím na základě rozhodnutí vlády neočekává. [20,65,67,68]

#### 4.1.3 PLYN Z UHELNÝCH SLOJÍ

Tzv. slojový metan (označuje se jako CBM – Coal Bed Methane, CSM – Coal Seam Methane, v češtině také jako plyn sorbovaný v uhelných slojích) je plyn, který vznikl z organického materiálu při tvorbě uhlí za působení vysokých teplot a tlaku. Množství metanu v uhelné sloji je dáno mimo jiné také stupněm prouhelnění, který roste se zvyšujícím se tlakem a teplotou a označuje obsah uhlíku v uhlí. Samotný plyn je tedy v ložisku uvězněn společně s uhlím a uniká teprve tehdy, pokud dojde k obnažení tohoto ložiska (například vrtem, těžbou nebo erozí). Při těžbě uhlí se důlní plyn (s vysokým podílem metanu) musí z bezpečnostních důvodů odčerpávat. Tento proces se nazývá důlní degazace a takto získaný plyn lze také ve specifických případech energeticky využít. [22,63]

V České republice byla objevena ložiska tohoto plynu především v hornoslezské pánvi. Celkové zásoby se zde odhadují na nejméně 100 miliard  $\text{m}^3$ . V současné době se slojový metan získává důlní degazací nebo přímou těžbou karbonského plynu a jeho podíl na současné produkci zemního plynu v České republice činí 10 %. V budoucnu lze očekávat další výzkum v této oblasti a případný nárůst produkce. [63,69]

#### 4.1.4 HYDRÁTY METANU

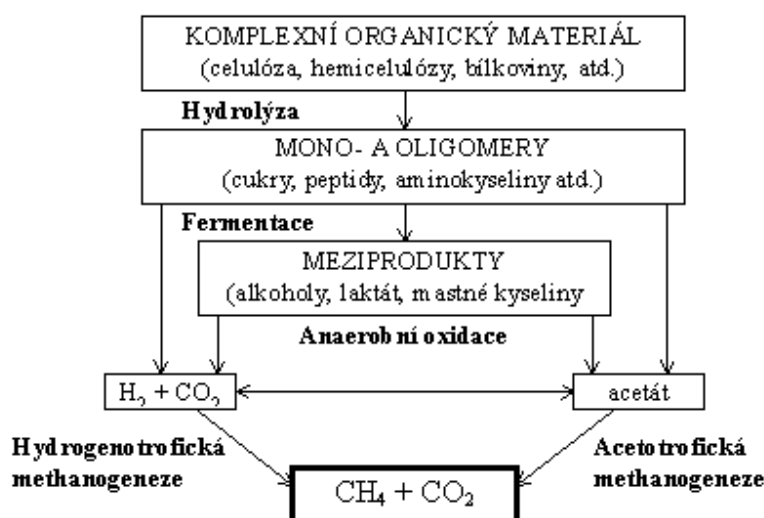
Jako hydrát se označuje látka, která je tvořena vodou (zejména krystalickou) provázanou s dalšími molekulami. V tomto případě se jedná o molekuly metanu. Obecně se tyto látky řadí mezi klatráty, což je označení pro krystalické sloučeniny, které v hostitelské mřížce obsahují určitý podíl cizí látky. Hydráty metanu vznikají z metanu, který stoupá ze zemské kůry k povrchu a je uvězněn v krystalické mřížce vody za vysokých tlaků

a nízkých teplot. Z tohoto důvodu se vyskytují převážně v usazeninách na mořském dně, v hloubkách několika set metrů, a dále také v permafrostu. [63]

Především z těchto důvodů zatím nedochází k výraznému využití tohoto metanu. Nejsou ani řádně prozkoumány jeho zásoby, některé odhady hovoří o množství několikanásobně převyšujícím dosavadní zásoby zemního plynu, jiné zase považují celkové množství metanu v hydrátech za nepodstatné. První těžba z podmořského ložiska kladrátu metanu proběhla teprve v roce 2013 u pobřeží Japonska. V budoucnu lze tedy i v tomto případě očekávat další výzkum. [3,63]

## 4.2 BIOPLYN

Další možností pro náhradu zemního plynu je bioplyn. Na rozdíl od nekonvenčních zdrojů se zde již nejedná o těžbu, nýbrž přímo o výrobu plynu pomocí přesného technologického postupu. Při výrobě bioplynu se používá tzv. anaerobní digesce. To je proces, při kterém probíhá kontrolovaná mikrobiální přeměna organického materiálu bez přístupu vzduchu v uzavřeném reaktoru. Existuje několik variant anaerobní digesce (někdy se také označuje jako anaerobní fermentace), v současnosti má největší význam čtyřfázový model, jehož schéma průběhu je zobrazeno na obrázku 4.2. V průběhu fermentace mají velkou roli různé typy bakterií. [71]



Obr. 4.2: Schéma čtyřfázové anaerobní digesce [71]

Výstupem z anaerobní digesce je plyn s obsahem metanu mezi 50 – 75 %, dalšími složkami pak je oxid uhličitý (25 – 50 %) a několik dalších látek (vodní pára, dusík, sulfan, čpavek a vodík). Vedlejším produktem je tzv. digestát, který obsahuje tímto procesem nerozložitelné látky. Splňuje-li parametry stanovené vyhláškou Ministerstva životního prostředí, může být použit jako hnojivo. Posledním produktem je tzv. fugát, což je silně zakalená procesní voda, která bývá zpravidla odváděna do čistírny odpadních vod. [70,71]

Vstupem do procesu fermentace je rostlinná a živočišná biomasa. V praxi se používá například kukuřičná, řepná nebo žitná siláž, popřípadě kejda. Mimo pozůstatky zemědělské

výroby je možné využít také průmyslový a komunální bioodpad. Množství vyrobeného bioplynu v porovnání s množstvím vstupujícího množství biomasy závisí především na podílu organické sušiny na vstupu do procesu. Tento podíl se pohybuje kolem 28 % z hmotnosti vstupní suroviny, zbytek pak tvoří voda a popeloviny, tedy již nepoužitelné suroviny pro výrobu bioplynu, ty pak odchází do digestátu a fugátu. V závislosti na druhu vstupní suroviny pak dojde k výrobě určitého množství bioplynu, například pro kukuřičnou siláž v průměru platí, že z jednoho kilogramu organické sušiny je možné dostat 0,8 m<sup>3</sup> bioplynu. [70,71]

V současnosti probíhá výroba bioplynu zejména v bioplynových stanicích. Jednou z možností využití bioplynu pak je přímo na místě jeho spalování pro získání tepelné energie, nebo použití jako palivo v kogenerační jednotce, která umožňuje současnou výrobu tepelné a elektrické energie. Nevýhodou tohoto řešení je, že vzniklé teplo nemusí být vždy zcela využito. Toto využití bioplynu je znázorněno na schématu v příloze 6. [70,71,73]

Další možností je úprava bioplynu na biometan, tedy plyn, který obsahuje téměř 99 % metanu. Během této úpravy je zejména potřeba odstranit specifickým postupem velké množství oxidu uhličitého a další látky. Biometan je pak prakticky zaměnitelný za zemní plyn. Proto se používá zejména stlačený jako palivo ve vozech na CNG. Dále je možné tento plyn vhánět do plynárenské sítě a kombinovat ho se zemním plynem. Toto řešení se zatím používá především v zahraničí, avšak v budoucnu lze očekávat jeho rozšíření i do České republiky. Výhodou biometanu je větší využití energetického potenciálu bioplynu a tedy i surovin potřebných k jeho výrobě. Lze dosáhnout výnosu 120 – 150 GJ na hektar zemědělské půdy. [70,72]

### 4.3 DALŠÍ MOŽNOSTI

Vzhledem k tomu, že zásoby zemního plynu, ať již konvenční nebo nekonvenční, jsou v přírodě omezené, lidstvo se bude muset v budoucnu zaměřit také na syntetickou výrobu plynu (SNG). Již dnes existují technologie, které jsou schopné syntetický zemní plyn vyprodukovat. Jedná se například o projekt e-gas společnosti Audi. Zde výroba plynu probíhá na základě dvou chemických reakcí. První reakcí je elektrolýza, při které se voda rozdělí na vodík a kyslík. Do druhé reakce pak vstupuje vodík společně s oxidem uhličitým. Produktem této reakce, tzv. metanizace, je metan. Teoreticky je možné tento plyn používat i v rozvodné síti, projekt je však teprve v počátcích a s využitím plynu se počítá především jako palivo pro vozy spalující CNG. [74]

V současné době je ve vývoji několik konceptů pro výrobu syntetického zemního plynu. Některé třeba při procesu metanizace využívají procesu zplyňování uhlí a tepla z vysokoteplotních jaderných reaktorů pro elektrolýzu vody. [75]

Je otázkou budoucnosti, zda bude možné některý z těchto procesů využít ve větším měřítku. V následujícím desetiletí lze očekávat především nárůst těžby zemního plynu z nekonvenčních zdrojů a větší rozvoj bioplynových stanic. Samozřejmý je i další výzkum a pravděpodobně i počátky produkce SNG pomocí nejnovějších technologických postupů

## 5 KLASICKÉ A KONDENZAČNÍ KOTLE NA ZEMNÍ PLYN

Předchozí kapitoly se zabývaly zemním plynem z makroskopického hlediska. Tato část bude zaměřena výhradně na koncové spotřebitele. Konkrétně pak na využití zemního plynu v domácnostech. Tam se zemní plyn obecně využívá k vytápění, ohřevu vody, ale také na vaření. Zatímco u plynových sporáků si lze jen těžko představit výraznou úsporu plynu díky technickému řešení, u vytápění to možné je. Existuje totiž více druhů kotlů s různou účinností využití dodané energie. Tyto kotle lze rozdělit do dvou základních kategorií, a to na klasické kotle na zemní plyn a kotle kondenzační. Jejich vlastnosti budou stručně popsány a porovnány v následujících podkapitolách.

Vytápění zemním plynem má nejen v České republice již poměrně dlouhou tradici. Je to dáno především relativně příznivými náklady, jak pořizovacími, tak i provozními. Mezi další výhody patří zejména dobrá regulovatelnost výkonu kotle, poměrně velká účinnost využití dodaného množství plynu a v rámci ostatních fosilních paliv také malý ekologický dopad na životní prostředí. Velkou výhodou je dále vysoký stupeň automatizace provozu kotle, kdy po prvotním nastavení již kotel pracuje prakticky autonomně a je schopný udržovat stanovené teplotní podmínky v domě bez dalšího zásahu majitele. [76]

Tento fakt však může být také nevýhodou, protože kotel musí být při provozu napájen elektrickou energií. Při jejím výpadku tedy není vytápění ani ohřev vody možný, přestože palivem je zemní plyn, jehož dodávky jsou nezávislé na případném výpadku elektrické energie v daném objektu. Mezi nevýhody pak můžeme řadit nutnost mít plynovou přípojku a vhodný komín. [76]

Důležité jsou také pravidelné revize zařízení a komínů. Jedná se o povinné kontroly z Nařízení vlády č.91/2010 o podmínkách požární bezpečnosti při provozu komínů, kouřovodů a spotřebičů paliv. Diskutuje se však o zrušení povinných kontrol komínů z důvodu, že spaliny z plynových kotlů nejsou dostatečně horké na to, aby způsobily požár. Je však potřeba uvést, že zemní plyn může v krajním případě při závažné poruše způsobit výbuch, z tohoto důvodu je radno dodržovat revize zařízení. [77]

### 5.1 CHARAKTERISTIKA KLASICKÉHO KOTLE

Klasické (konvenční) kotle na zemní plyn mají delší tradici. Podíl prodeje tohoto druhu kotle v porovnání s kotli kondenzačními má však klesající tendenci. Uplatní se zejména při rekonstrukcích starších domů, kde je topná soustava navržena pro tento typ kotle a její přestavba by byla ekonomicky příliš nákladná nebo z jiných příčin nemožná. V současné době je hlavní výhodou klasického kotle jeho relativně nízká pořizovací cena, respektive je nižší než u kondenzačních, často řádově i o desítky procent.

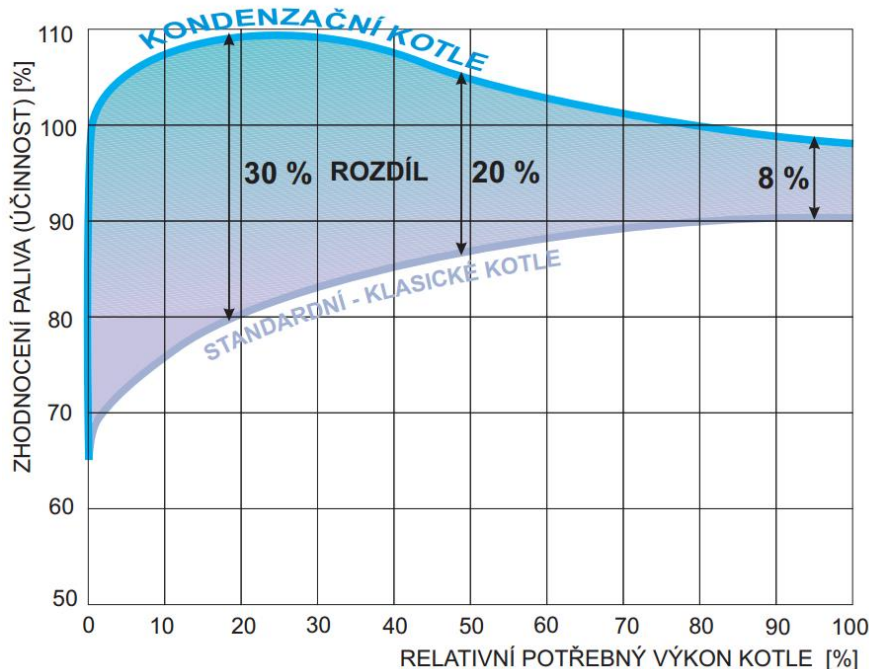
Hlavní nevýhodou klasických kotlů je odvod spalin přímo do komína, což znamená, že nemůže být plně využit energetický potenciál dodaného paliva. Teplota spalin se pohybuje v rozmezí 90 – 180 °C. Účinnost může dosahovat maximálních hodnot až 93 %, obecně však pracuje s účinností 77 – 90 %. Hodnota této účinnosti je však vztažena k výhřevnosti dodaného zemního plynu. Pokud se vyjádří vzhledem k spalnému teplu, tak se pohybuje



kolem 68 až 83 %. Oba termíny již byly popsány v kapitole 1.2, obecně však platí, že spalné teplo pro plyny dostupné v České republice je přibližně rovno  $1,11 \cdot \text{výhřevnost}$ . [78,79,80,81]

Účinnost kotle v daném momentě závisí zejména na jeho aktuálním výkonu. Závislost účinnosti zhodnocení dodaného paliva na relativním potřebném výkonu je znázorněna v obrázku 5.1, kde se nachází také porovnání tohoto parametru s kondenzačním kotlem. Z obrázku je možné pozorovat, že klasický kotel pracuje nejúsporněji při 70 – 100 % jmenovitého výkonu, kdy dosahuje účinnosti kolem 90 % vzhledem k výhřevnosti dodaného zemního plynu. [80]

Teplotní spád, což je hodnota udávající rozdíl mezi topnou a vratnou vodou, je nejčastěji nastaven na 20 °C. Konkrétně se pak nejčastěji vyskytují hodnoty ve formátu teplota na vstupu do radiátoru/teplota na výstupu z radiátoru: 90/70 °C nebo 70/50 °C. Toto nastavení je individuální pro danou topnou soustavu. [78,79]



Obr. 5.1: Účinnost kotle v závislosti na relativním potřebném výkonu [80]

## 5.2 CHARAKTERISTIKA KONDENZAČNÍHO KOTLE

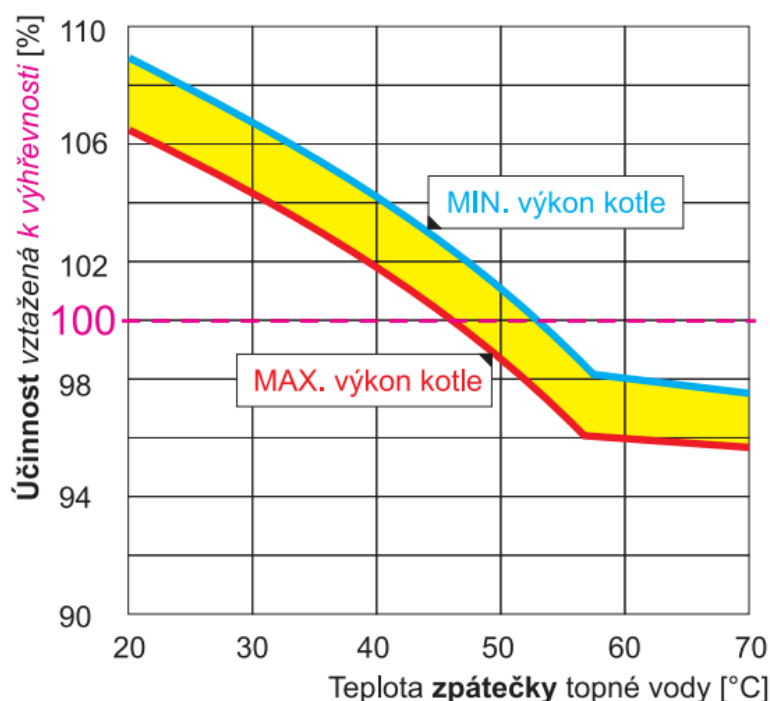
Kondenzační kotle jsou dnes nejvíce používanou skupinou. U nově postavených rodinných domů, které jsou vytápěny zemním plynem, je jejich procentuální zastoupení kolem 90 %. Využití však nalézají také při rekonstrukcích starších topných soustav, kde se provádí výměna klasického kotle za kondenzační. Jejich hlavní výhodou je vysoká účinnost využití paliva. Pokud ji vztáhneme k výhřevnosti, může dosáhnout hodnot 100 – 109 %<sup>6</sup>. Vzhledem ke spalnému teplu, tedy objektivnější hodnotě, pak kondenzační kotle mají

<sup>6</sup> Z fyzikálního hlediska není možné dosáhnout vyšší účinnosti než 100 %. Zde je to však způsobeno tím, že získané teplo je podělené nekompletní hodnotou energetického obsahu paliva, tedy výhřevností. Výhřevnost je pouze ta část energetického potenciálu paliva, kterou získáme hořením bez započítání tepla spalin.

účinnost pohybující se v rozmezí 89 – 97,5 %. Stejně jako u klasických kotlů závisí aktuální účinnost na relativním výkonu kotle. Tato závislost je také v obrázku 5.1. Z toho lze pozorovat, že kondenzační kotle mají nejvyšší účinnost při 10 – 40 % jmenovitého výkonu. To představuje další odlišnost od klasických kotlů, jejichž účinnost je nejvyšší při využití celého výkonu kotle, nebo alespoň jeho většiny. [80,82]

Vyšší účinnost oproti klasickým kotlům má za následek menší spotřebu plynu při stejném objemu tepla, odevzdaném do topné soustavy. Případné ušetření nákladů při koupi menšího množství plynu je však vyváženo vyššími pořizovacími náklady. Samotný kondenzační kotel může být dražší až o desítky procent oproti klasickému se stejným výkonem. Je potřeba zmínit také náklady na případné stavební úpravy, při použití kondenzačního kotle je totiž potřeba mít komín s vložkou a připojení odvodu kapalného kondenzátu do kanalizace. [78,82]

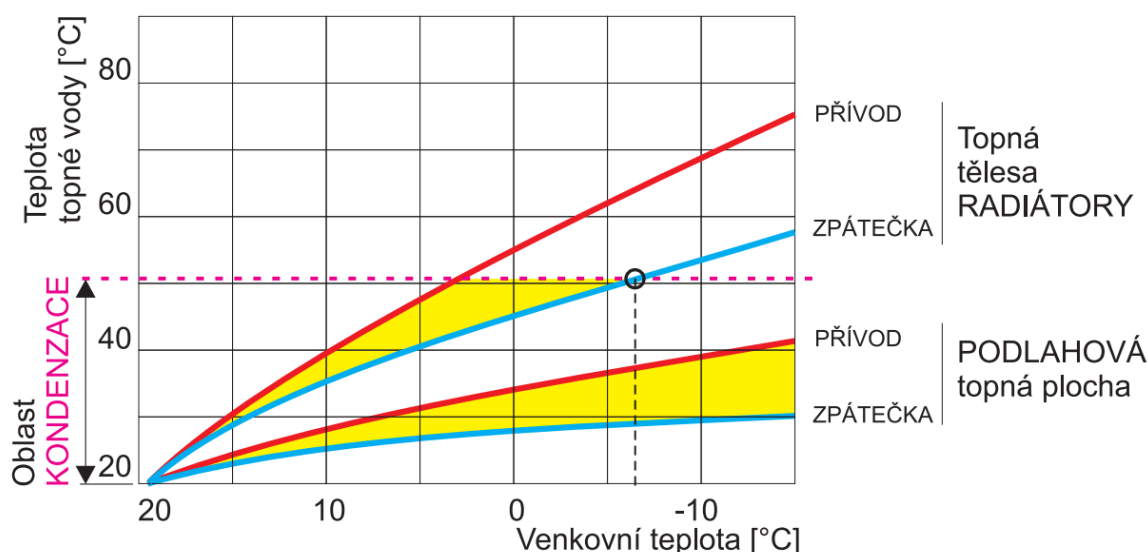
Vyššího využití spalného tepla, a tedy i vyšší účinnosti, dosahuje kondenzační kotel pomocí využití tepla spalin. Tyto spaliny totiž obsahují množství vodní páry. Jsou proto vedeny přes tepelný výměník, kde vodní pára zkondenzuje a spaliny se ochladí na přibližně 60 °C. Díky nízké teplotě spalin je kouřovod zpravidla nutné opatřit ventilátorem. Teplo z výměníku pak slouží pro předehřev vody v topném systému. Vzniklý kondenzát je kyselý s  $\text{pH} = 4$  až 6. Pro jeho odvod je tedy nutné použít potrubí, které je schopné tomuto stupni kyselosti odolávat. V pozdější fázi se  $\text{pH}$  navýší smícháním s běžným domovním odpadem v kanalizaci, který je naopak lehce zásaditý, a nedojde tak k porušení potrubí. Množství kondenzátu odpovídá přibližně jedné desetíně litru za hodinu na každý kW výkonu. Náčrtek kondenzačního kotle s popisem je v příloze 7. [78,82]



Obr. 5.2: Schéma závislosti účinnosti kotle na teplotě zpáteční topné vody [80]

Z obrázku 5.2 je možné pozorovat, že účinnost kondenzačního kotle je závislá také na teplotě zpáteční vody, tedy vody, která se po průchodu topným systémem vrací znovu do

kotle k dalšímu ohřevu. U tohoto typu platí, že účinnost klesá s rostoucí teplotou zpáteční vody. Nejvýhodnější je tedy využití kondenzačního kotle u topných systémů s nižšími teplotami, například při spádu 10 °C se často volí nastavení 55/45 °C nebo nižší. Při pohledu na topnou soustavu toto znamená, že kondenzační kotel je velmi výhodný zejména pro systémy s velkou plochou topných těles. Typickým příkladem je podlahové topení, jehož výhodnost ilustruje obrázek 5.3. Kondenzační kotel je však stále výhodné použít i ve starších topných systémech, zejména v těch, které mají předimenzovanou plochu radiátorů a velké množství vody v systému. Není tak nutné vodu ohřívat na vysoké teploty a tím se dosáhne vyšší účinnosti. [79,80,82]



Obr. 5.3: Teplota topné vody za různých venkovních teplot [80]

### 5.3 EKONOMIKA VYUŽITÍ PŘI VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU

V této podkapitole bude na základě předchozích poznatků krátce předvedena výhodnost a případná návratnost pořízení kondenzačního místo klasického kotle na zemní plyn. Jedná se jen o orientační příklad, v reálném případě by bylo nutné zohlednit mnoho dalších vlivů, včetně vlastností konkrétní topné soustavy, vlastností objektu apod. Pro účely tohoto výpočtu předpokládejme nově vystavěný rodinný dům, kterému je nutné pro pokrytí tepelných ztrát dodat energii 12 000 kWh/rok. Platba zemního plynu se provádí za dodané spalné teplo. Při uvažování účinností jednotlivých druhů kotlů je tedy nutné použít právě účinnost vztaženou ke spalnému teplu. [81]

Vzhledem k tomu, že se jedná o novostavbu, tak je zřejmé, že topný systém byl navrhnout přímo pro využití daného typu kotle, můžeme tedy uvažovat vyšší účinnosti z již uvedených rozsahů. Při použití klasického uvažujeme roční průměrnou účinnost 78 %. Za této účinnosti je snadné dopočítat, že musí být odebráno množství zemního plynu o celkové hodnotě spalného tepla asi 15 385 kWh/rok. Pokud bude uvažována společnost RWE Energie, a.s. jako dodavatel plynu, tak pro daný roční odběr platí od 1. 1. 2015 sazba 1 437,2 Kč/MWh. Při vytápění klasickým kotlem by tedy celkový roční účet za plyn činil přibližně 22 111,3 Kč. [83]



Kondenzační kotel má oproti klasickému vyšší hodnotu využití přivedeného plynu. Pro účely tohoto příkladu bude uvažována průměrná roční účinnost kotle 95 %. To znamená, že musí být dodáno množství plynu o celkové hodnotě spalného tepla 12 631,6 kWh/rok. Jedná se o výrazně menší množství plynu, ale při snížení odběru se zároveň zvýší sazba na 1459,1 Kč/MWh (při stejném dodavateli). V tomto případě bude celkový roční účet za plyn činit 18 430,8 Kč. Roční úspora při použití kondenzačního kotle tedy je 3 680,5 Kč. [83]

Návratnost investice do plynového kotle je možné ilustrovat na příkladu použití kotlů firmy Thermona, konkrétně pak klasický kotel THERM 20 LXE.A (výkon 8 – 20 kW, cena 24 079 Kč) a kondenzační kotel THERM 17 KD.A (výkon 3,5 – 17 kW, cena 41 019 Kč). Rozdíl cen těchto kotlů je 16 940 Kč. Při roční úspoře 3680,5 Kč na spotřebě plynu se rozdíl cen klasického a kondenzačního kotle smaže přibližně za 4 roky a 7 měsíců za předpokladu každoročně stejného množství dodaného tepla a cen plynu. Firma Thermona poskytuje záruku na 3 roky. Jedná se tedy o částečný risk, protože pokud by těsně po uplynutí záruční doby došlo k neopravitelné nebo velmi nákladné poruše, tak by se investice do kondenzačního kotle nemusela vyplatit. Obecně však platí, že provoz kotle se plánuje na dobu daleko delší než 5 let. V tomto případě by se tedy investice do kondenzačního kotle za daných předpokladů vyplatila. [84]

Samotná doba návratnosti investice do kondenzačního kotle však může být ovlivněna mnoha faktory. Především lze předpokládat, že tepelné ztráty domu a účinnost kotle nebudou každoročně stejné. Stejná nebude ani cena plynu, která bude každoročně růst. Urychlit návratnost je možné použitím kotlů také na přípravu teplé vody, v tomto případě by však bylo nutné zvolit odlišné modely, protože ty uvažované jsou specializované jen na vytápění. Obecně lze však říci, že ve většině případů a při splnění určitých požadavků lze doporučit koupi kondenzačního kotle i přes větší počáteční náklady.

## ZÁVĚR

Zemní plyn patří mezi celosvětově nejvýznamnější energetické suroviny. Přestože se technicky jedná o fosilní palivo, tak jeho použití není omezováno, je naopak podporováno na úkor ropy a uhlí. Velkou výhodou zemního plynu je jeho ekologičnost. Emise oxidu uhličitého, oxidu uhelnatého a dalších škodlivých látek jsou v porovnání s tuhými palivy výrazně menší. Ke konci roku 2013 činily celosvětové ověřené zásoby 185,7 bilionu  $\text{m}^3$ , což by při současné spotřebě vystačilo do roku 2069. Celkové pozemské zásoby konvenčního zemního plynu se pak odhadují na 520 bilionů  $\text{m}^3$ .

Česká republika patří mezi země, jejichž zásoby zemního plynu jsou z globálního hlediska zanedbatelné. Za rok 2013 byla celková spotřeba zemního plynu na našem území 8 277,1 milionu  $\text{m}^3$ . Více než 98 % z tohoto množství je pak pokryto dovozem plynu ze zahraničí. Tři čtvrtiny importovaného plynu pocházejí z Ruské federace, zbytek je nakupován v Norsku. Vzhledem ke své poloze slouží Česká republika také jako tranzitní země v rámci Evropské sítě. Dovoz a tranzit plynu přes naše území zajišťuje společnost NET4GAS, s.r.o. Vytěžený zemní plyn dosáhl v roce 2013 objemu 151,9 milionu  $\text{m}^3$ . S ohledem na ověřené zásoby na našem území, které jsou přibližně 5,5 miliardy  $\text{m}^3$ , lze v budoucnu předpokládat konstantní stav těžby bez výrazných výkyvů.

K akumulaci zemního plynu v České republice dochází v podzemních zásobnících. V současné době se na našem území nachází osm funkčních zásobníků, z toho je jeden špičkový (PZP Háje) a sedm je sezónních. Dále jsou dva ve výstavbě a jeden se plánuje. Kapacita zásobníků, určená pro potřeby zákazníků v České republice, je 2 976 milionů  $\text{m}^3$ , což odpovídá asi 36 % roční spotřeby. Do této kapacity není zahrnut PZP Dolní Bojanovice, jehož kapacita slouží pro potřeby Slovenské republiky.

Přestože se zemní plyn řadí mezi fosilní paliva, tak jeho ověřené zásoby stále rostou. Vzhledem k rostoucí spotřebě je však potřeba hledat náhrady současných zdrojů. Zejména se nabízí využití nekonvenčních zásob, například se jedná o plyn z nízkopropustných písků a břidlicový plyn, který právě zažívá výrazný rozvoj těžby ve Spojených státech amerických. Dále je možné využít plyn z uhelných slojí a v budoucnu také hydráty metanu. Další možností je vlastní výroba zemního plynu. Jedním řešením je možnost využití biometanu, který se získává z bioplynu, a je možné ho použít i v plynárenské síti. Existuje však také několik projektů zaměřených na syntetickou výrobu plynu, jejich rozsáhlejší využití však zatím nelze předpokládat.

Jedním z významů zemního plynu je jeho použití pro vytápění rodinných domů. K tomu slouží plynové kotle, které se dělí na dva základní druhy, a to klasické a kondenzační. Klasický kotel vyžaduje menší počáteční investici, ale má oproti kondenzačnímu nižší účinnost. V současné době se více používají kotle kondenzační. Přestože mohou být dražší než klasické až o desítky procent, tak při správném nastavení topné soustavy je ekonomická návratnost při pořízení kondenzačního kotle zajištěna v průběhu 3 – 5 let.

Zemní plyn je velmi rozšířený, jen v České republice je dodáván do více než 2,5 milionu domácností. V budoucnu lze očekávat jeho větší expanzi do dalších oblastí, například jeho využití pro výrobu elektrické energie, jak se právě děje ve Spojených státech amerických, nebo v dopravě. Probíhá totiž nárůst vozidel poháněných stlačeným zemním plynem.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [01] SVOBODA, Alexandr. *Plynárenská příručka: 150 let plynárenství v Čechách a na Moravě*. 1. vyd. Praha: GAS, 1997, 1192 s. ISBN 80-902339-6-1.
- [02] Použití. *Zemní plyn* [online]. c2007-2010 [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <http://www.zemniplyn.cz/soustava/default.htm>
- [03] KAMEŠ, Josef. *Fosilní paliva: uhlí, ropa a zemní plyn*. 1. vyd. Praha: [s.n.], 2012, 227 s. ISBN 978-80-260-1291-7.
- [04] Výroba elektrické energie. *Vítejte na zemi: multimediální ročenka životního prostředí* [online]. c2013 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: [http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=vyroba\\_elektricke\\_energie&site=energie](http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=vyroba_elektricke_energie&site=energie)
- [05] Fosilní paliva. *Nazeleno.cz* [online]. c2008 [cit. 2015-03-23]. ISSN 1803-4160. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/fosilni-paliva.dic>
- [06] Vznik ropy. *Muzeum naftového dobývání a geologie* [online]. c2012 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: <https://naftarskemuzeum.wordpress.com/geologie-a-dobyvani/naftova-geologie/vznik-ropy/>
- [07] Vznik a historie využívání zemního plynu. *RWE: The energy to lead* [online]. c2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <https://www.rwe.cz/o-rwe/vznik-a-historie-zp/>
- [08] Co je zemní plyn. *Zemní plyn* [online]. c2007-2010 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://www.zemniplyn.cz/plyn/default.htm>
- [09] KÁRA, Jaroslav, Oldřich MUŽÍK. *Rozvoj bioplynových technologií v podmínkách ČR* [online]. Praha, 2009 [cit. 2015-04-04]. Výzkumná práce. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i. Dostupné z: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2009/132.PDF>.
- [10] JELÍNEK, Antonín, Petr PLÍVA a Jiří SOUČEK. *Emise metanu ze zemědělské činnosti* [online]. Praha, 2005 [cit. 2015-05-26]. Technologické doporučení. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i. Dostupné z: <http://svt.pi.gin.cz/vuzt/poraden/doporucek/ekolog/emise.htm>.
- [11] Vznik ropy. *Petroleum.cz* [online]. c2007-2015 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/ropa/vznik-ropy.aspx>
- [12] BUDÍN, Jan. Zemní plyn – těžba, vlastnosti a rozdělení. *OEnergetice.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/plynarenstvi/zemni-plyn-tezba-vlastnosti-a-rozdeleni/>
- [13] KRČEK, Tomáš. Tichý pohřeb pohádky o ropném zlomu. *Osel.cz* [online]. 2013 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/6903-tichy-pohreb-pohadky-o-ropnem-zlomu.html>
- [14] FÍK, Josef. *Zemní plyn: tabulky, diagramy, rovnice, výpočty, výpočtové pravítko*. 1. vyd. Praha: Agentura ČSTZ, 2006, 355 s. ISBN 80-86028-22-4.
- [15] HOUSEROVÁ, Janka. Proč zemní plyn nevoní po fialkách? *Science World* [online]. 2002 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.scienceworld.cz/neziva-priroda/proc-zemni-plyn-nevoni-po-fialkach-3773/>
- [16] Proč nechat čistit plynový kotel? *JOSGAZ, s.r.o.* [online]. c2015 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.josgaz.cz/index.php?nid=9759&lid=cs&oid=2251943>

- [17] Ekologie. *Zemní plyn* [online]. c2007-2010 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.zemniplyn.cz/ekologie/>
- [18] Výhody CNG. *CNG4YOU* [online]. c2011 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/cng-info/vyhody-cng.html>
- [19] Zásoby zemního plynu. *RWE: Energy to lead* [online]. c2015 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <https://www.rwe.cz/o-rwe/zasoby-a-tezba-zp/>
- [20] BP. *BP Statistical Review of World Energy June 2014* [online]. 2014 [cit. 2015-05-01]. Dostupné také z: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf>
- [21] MURTINGER, Karel. Jak se těží břidlicový plyn. *Nazeleno.cz* [online]. 2012 [cit. 2015-05-05]. ISSN 1803-4160. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/jak-se-tezi-bridlicovy-plyn.aspx>
- [22] DVOŘÁKOVÁ, Vlastimila, Juraj FRANCŮ, Bohdan KŘÍBEK, Jan PAŠAVA, Ivo SITENSKÝ. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Nekonvenční zemní plyn z břidlic (NZPB): Potenciální zásoby a technologie jeho těžby* [online]. 2011 [cit. 2015-05-05]. Dostupné také z: [http://www.geology.cz/img/aktu/NZPB\\_final\\_plus\\_prilohy.pdf](http://www.geology.cz/img/aktu/NZPB_final_plus_prilohy.pdf)
- [23] Přeprava a uskladnění. *Zemní plyn* [online]. c2007-2010 [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.zemniplyn.cz/doprava/default.htm>
- [24] Co je zemní plyn. *CNG4YOU* [online]. c2011 [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/cng-info/co-je-zemni-plyn.html>
- [25] BUDÍN, Jan. Plynárenství v ČR – dodávka plynu a základní statistiky. *OEnergetice.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/plynarenstvi/plynarenstvi-v-cr-dodavka-plynu-zakladni-statistiky/>
- [26] Zemní plyn. *Energyweb.cz* [online]. 2005? [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: [http://www.energyweb.cz/web/index.php?display\\_page=2&subitem=1&ee\\_chapter=2.4.3](http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=2.4.3)
- [27] LNG Carriers. *Azbil Corporation* [online]. c1995-2015 [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: [http://www.azbil.com/products/bi/ias/products/sol\\_marine2.html](http://www.azbil.com/products/bi/ias/products/sol_marine2.html)
- [28] OTE, A.S. *Síť tranzitních plynovodů v Evropě*. [online]. 2012 [cit. 2015-05-06]. Dostupné také z: [http://m.sand.ote-cr.cz/statistika/dlouhodobost-rovnovaha/files-dlouhodobost-bilance/Plynovody\\_Evropa\\_2012.png](http://m.sand.ote-cr.cz/statistika/dlouhodobost-rovnovaha/files-dlouhodobost-bilance/Plynovody_Evropa_2012.png)
- [29] ČESKÝ ROZHLAS. *Plynovody*. [online]. 2014 [cit. 2015-05-06]. Dostupné také z: <https://lacogroessling.files.wordpress.com/2014/06/140418-plynovody.jpg>
- [30] ČEZ, A. S. *Podíl zdrojů elektřiny použitých pro výrobu elektřiny v roce 2013* [online]. c2015 [cit. 2015-05-07]. Dostupné také z: <http://www.cez.cz/cs/odpovedna-firma/zivotni-prostredi/informace-dle-energetického-zakona-c458-2000-sb/2013/podil-zdroju-elektriny.html>
- [31] *Perspektivní způsoby využití zemního plynu* [online]. Praha, 2012 [cit. 2015-05-07]. Skripta. Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší VŠCHT Praha. Dostupné z: [http://tresen.vscht.cz/kap/data/ke\\_stazeni/8\\_skripta\\_perspektivni\\_zpusoby\\_vyuziti\\_zemniho\\_plynu\\_soubor.pdf](http://tresen.vscht.cz/kap/data/ke_stazeni/8_skripta_perspektivni_zpusoby_vyuziti_zemniho_plynu_soubor.pdf).

- [32] Výroba elektřiny v ČR: Nejvíce energie stále získáváme z uhelných elektráren. *Elektrina.cz* [online]. 4. 4. 2014, c2015 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.elektrina.cz/vyroba-elektřiny-v-cr-nejvic-energie-stale-ziskavame-z-uhelných-elektřaren>
- [33] U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Electric Power Monthly* [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné také z: [http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm\\_table\\_grapher.cfm?t=epmt\\_1\\_01](http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.cfm?t=epmt_1_01)
- [34] BUKAČ, Petr. Kogenerace pro rodinné domy: Vyrábějte teplo a elektřinu najednou. *Nazeleno.cz* [online]. 22. 2. 2010 [cit. 2015-05-27]. ISSN 1803-4160. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/kogenerace-pro-rodinne-domy-vyrabejte-teplo-a-elektřinu-najednou.aspx>
- [35] Statistiky. *CNG4YOU* [online]. 2014 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/cng-info/statistiky.html>
- [36] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Roční zpráva o provozu plynárenské soustavy 2013* [online]. 2014, 38 s. [cit. 2015-05-09]. Dostupné také z: [http://www.eru.cz/documents/10540/462888/Zprava\\_o\\_provozu\\_PS\\_2013.pdf/4996c7ea-1100-4fe2-a454-be834abebcd7](http://www.eru.cz/documents/10540/462888/Zprava_o_provozu_PS_2013.pdf/4996c7ea-1100-4fe2-a454-be834abebcd7)
- [37] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Proces liberalizace trhu s plynem* [online]. 22. 8. 2011, c2014 [cit. 2015-05-9]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/-/proces-liberalizace-trhu-s-plynem>
- [38] WOLF, Petr. Kolik stojí kWh elektřiny, plynu a dalších energií? In: *CenyEnergie.cz* [online]. 13. 2. 2015, c2010-2013 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/kolik-stoji-kwh/#/promo-ele>
- [39] Často kladené dotazy. *Energetický regulační úřad* [online]. c2014 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/informacni-centrum/casto-kladene-dotazy>
- [40] ČEZ odložil stavbu paroplynové elektrárny v Mělníku. *Nevyplatí se. E15.cz* [online]. 30. 12. 2012, c2015 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://zpravy.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/cez-odlozil-stavbu-paroplynove-elektřarny-v-melniku-nevyplati-se-1049436>
- [41] Plynárenství ČR. *Energostat* [online]. 2014 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://energostat.cz/plynarenstvi-cr.html>
- [42] WOLF, Petr. Co když Rusko zavře kohoutek? Kudy do Česka proudí plyn. *Nazeleno.cz* [online]. 18. 9. 2014 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/co-kdyz-rusko-zavre-kohoutek-kudy-do-ceska-proudi-plyn.aspx>
- [43] Transportation. *Gazprom Export* [online]. c2006-2015 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.gazpromexport.ru/en/projects/transportation/>
- [44] Přepavní soustava. *NET4GAS* [online]. c2012 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.net4gas.cz/cs/prepravni-soustava/>
- [45] NET4GAS, S.R.O. *Právní doložka k Desetiletému plánu rozvoje přepravní soustavy v České republice 2015 - 2024* [online]. 2014, 45 s. [cit. 2015-05-10]. Dostupné také z: [http://www.net4gas.cz/cs/media/nTYNDP\\_CZ\\_Dolozka\\_141219.pdf?jls=20150424170101](http://www.net4gas.cz/cs/media/nTYNDP_CZ_Dolozka_141219.pdf?jls=20150424170101)



- [46] HORÁKOVÁ, Anna, Tereza HODKOVÁ, Pavel KAVINA, Dalibor MAŠEK, Jaroslav NOVÁK, Ivo SITENSKÝ, Jaromír STARÝ a Mirko VANĚČEK. *ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. Surovinové zdroje České republiky 2014* [online]. 1. vyd. Praha, 2014, 384 s. [cit. 2015-05-11]. ISBN 978-80-7075-882-3. ISSN 1801-6693. Dostupné také z: <http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/SUROVINOVE-ZDROJE-CESKE-REPUBLIKY-2014.pdf>
- [47] Storage. Gazprom Export [online]. c2006-2015 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.gazpromexport.ru/en/projects/storage/>
- [48] Skladovací kapacita. *SPP Storage: Provozovatel podzemního zásobníku plynu* [online]. 2015 [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.sppstorage.cz/provozni-data/skladovaci-kapacita>
- [49] Plán rozvoje zásobníku. *SPP Storage: Provozovatel podzemního zásobníku plynu* [online]. 2015 [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.sppstorage.cz/provozni-data/tydenni-data>
- [50] JIRÁSEK, Jakub, Petr LÁZNIČKA a Martin SIVEK. *Ložiska nerostů: Evidovaná ložiska nerostů České republiky* [online]. 2008 [cit. 2015-05-12]. ISBN 978-80-7342-206-6. Dostupné také z: [http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/loziska\\_cr.html#ZEMNÍ\\_PLYN](http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/loziska_cr.html#ZEMNÍ_PLYN)
- [51] RWE GAS STORAGE, S.R.O. *RWE Gass Storage - spolehlivý provozovatel podzemních zásobníků plynu* [online]. 2012, 8 s. [cit. 2015-05-12]. Dostupné také z: [http://www.rwe-gasstorage.cz/cs/prezentace/rwe\\_gs\\_provozovatel\\_pzp/rwe\\_gs\\_pzp.html](http://www.rwe-gasstorage.cz/cs/prezentace/rwe_gs_provozovatel_pzp/rwe_gs_pzp.html)
- [52] Skladovací struktury. *RWE Gas Storage* [online]. c2015 [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.gasstorage.cz/skladovaci-struktury/>
- [53] Denní data. *SPP Storage: Provozovatel podzemního zásobníku plynu* [online]. 2015 [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.sppstorage.cz/provozni-data/denni-data>
- [54] RWE GASS STORAGE, S.R.O. *Podzemní zásobníky plynu RWE Gas Storage* [online]. c2015 [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.rwe-gasstorage.cz/cs/mapa-zasobniku/>
- [55] JANČAR, Rost'a. Podívejte se, jak se v Česku skladuje plyn, který se nám teď hodí. *Technet.cz* [online]. 12. 1. 2009 [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: [http://technet.idnes.cz/podivejte-se-jak-se-v-cesku-skladuje-plyn-ktery-se-nam-ted-hodi-p6c-/tec\\_tecnika.aspx?c=A090108\\_200359\\_tec\\_tecnika\\_rja](http://technet.idnes.cz/podivejte-se-jak-se-v-cesku-skladuje-plyn-ktery-se-nam-ted-hodi-p6c-/tec_tecnika.aspx?c=A090108_200359_tec_tecnika_rja)
- [56] DOLNÍ DUNAJOVICE. *Dvacet let PZP Dolní Dunajovice* [online]. 2009, 8 s. [cit. 2015-05-13]. Dostupné také z: [http://www.dolnidunajovice.cz/VismoOnline\\_ActionScripts/File.ashx?id\\_org=2896&id\\_dokumenty=1087](http://www.dolnidunajovice.cz/VismoOnline_ActionScripts/File.ashx?id_org=2896&id_dokumenty=1087)
- [57] Rozvoj ZP – kapacita a výkony. *MND Gas Storage a.s.* [online]. c2015 [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.gasstorage.cz/informacni-povinnost/rozvoj-zp-kapacita-a-vykony/>
- [58] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČESKÉ REPUBLIKY. *Závěr zjišťovacího řízení: Podzemní zásobník plynu Dambořice* [online]. 2012, 7 s. [cit. 2015-05-13]. Dostupné také z: [www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?PubID=183369&TypeID=7](http://www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?PubID=183369&TypeID=7)

- [59] LUKÁČ, Petr. Komárek uzavřel s Gazpromem kontrakt za 7,5 miliardy. Pronajme Rusům zásobník plynu. *Hospodářské noviny* [online]. 18. 9. 2013 [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://byznys.ihned.cz/zpravodajstvi-cesko/c1-60779360-komarek-pronajme-zasobnik-plynu-ruskemu-gazpromu>
- [60] Superrychlý podzemní zásobník – Rožná. *Česká plynárenská* [online]. c2015 [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.ceskaplynarenska.cz/cs/zasobnik>
- [61] Technické parametry. *GSCeP* [online]. c2012 [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://gscep.christian-element.net/cs/technicke-parametry>
- [62] Firma Lama začala u Břeclavi zkušebně těžit plyn z nových ložisek. *Finance.cz* [online]. 25. 3. 2010 [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.finance.cz/zpravy/finance/257393-firma-lama-zacala-u-breclavi-zkusebne-tezit-plyn-z-novych-lozisek/>
- [63] BUCHTA, Tomáš. Břidlicový plyn – Geologie. *TZBinfo: Technická zařízení budov* [online]. 2. 3. 2015 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/vytapime-plynem/12371-bridlicovy-plyn-geologie>
- [64] Shale/Unconventional Resources. *Pacwest Consulting Partners, LLC.* [online]. c2012 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://pacwestcp.com/education/shaleunconventional-resources/>
- [65] NEWSLAB. *Hydraulické štěpení* [online]. 2012 [cit. 2015-05-15]. Dostupné také z: <http://www.newslab.cz/hydraulic-fracturing/>
- [66] TOTAL S.A. *Tight gas reservoir: Technology-intensive resources* [online]. 2007 [cit. 2015-05-15]. Dostupné také z: <http://www.total.com/sites/default/files/atoms/file/total-tight-gas-reservoirs-technology-intensive-resources>
- [67] U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Natural Gas: Shale Gas* [online]. 2013 [cit. 2015-05-15]. Dostupné také z: [http://www.eia.gov/dnav/ng/ng\\_enr\\_shalegas\\_dcu\\_nus\\_a.htm](http://www.eia.gov/dnav/ng/ng_enr_shalegas_dcu_nus_a.htm)
- [68] BUCHTA, Tomáš. Břidlicový plyn – Asie, Austrálie, Afrika a Evropa. *TZBinfo: Technická zařízení budov* [online]. 13. 4. 2015 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/vytapime-plynem/12546-bridlicovy-plyn-asie-australie-afrika-a-evropa>
- [69] Má těžba slojového metanu u nás perspektivu? *Technický týdeník* [online]. 7. 3. 2013 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: [http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/ma-tezba-slojoveho-metanu-u-nas-perspektivu\\_20325.html](http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/ma-tezba-slojoveho-metanu-u-nas-perspektivu_20325.html)
- [70] Technologie bioplynových stanic. *Enviton* [online]. c2008 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/technologie-bps/>
- [71] Bioplynové stanice. *Green Technology* [online]. c2007-2015 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.green-t.cz/bioplynove-stance/>
- [72] MRÁZEK, Vojtěch. Biometan – ekologická i ekonomická náhrada zemního plynu. *Průmysl.cz* [online]. 24. 11. 2012 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.prumysl.cz/biometan-ekologicka-i-ekonomicka-nahrada-zemniho-plynu/>
- [73] Organická hnojiva ostatní: Digestát. *Informační systém Mendelovy univerzity v Brně* [online]. 15. 8. 2013 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/stranka.php?kod=1674](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/stranka.php?kod=1674)

- [74] Energy turnaround in the tank. *AUDI AG: Vorsprung durch Technik* [online]. c2015 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: [http://www.audi.com/com/brand/en/vorsprung\\_durch\\_technik/content/2013/10/energy-turnaround-in-the-tank.html](http://www.audi.com/com/brand/en/vorsprung_durch_technik/content/2013/10/energy-turnaround-in-the-tank.html)
- [75] IDAHO NATIONAL LABORATORY. *Nuclear-Integrated Substitute Natural Gas Production Analysis* [online]. 2010, 122 s. [cit. 2015-05-16]. Dostupné také z: [https://inlportal.inl.gov/portal/server.pt/document/79271/nuclear-integrated\\_substitute\\_natural\\_gas\\_production\\_analysis\\_rev\\_1\\_pdf?qid=88673014&rank=1](https://inlportal.inl.gov/portal/server.pt/document/79271/nuclear-integrated_substitute_natural_gas_production_analysis_rev_1_pdf?qid=88673014&rank=1)
- [76] DIVIŠOVÁ, Michaela. Topíme plynem: Výhody a nevýhody různých způsobů plynového vytápění. *Penize.cz* [online]. 1. 9. 2014, c2000-2015 [cit. 2015-05-27]. ISSN 1213-2217. Dostupné z: <http://www.penize.cz/nakupy/290240-topime-plynem-vyhody-a-nevyhody-ruznych-zpusobu-plynoveho-vytapeni>
- [77] Povinná roční kontrola komínu a revize komínových spalinových cest. *Kominictví Messy* [online]. c2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://kominictvi.messy.cz/kontroly>
- [78] Plynový kotel kondenzační nebo klasický? *InfoBYDLENÍ.cz* [online]. c2009-2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.infobydleni.cz/news/plynovy-kotel-kondenzacni-nebo-klasicky/>
- [79] Co znamená vstupní a výstupní teplota otopné soustavy u radiátoru? *Designové radiátory Laurens* [online]. 19. 4. 2013 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://designove-radiatory-laurens.blogspot.cz/2013/04/co-znamenava-vystupni-vystupni-teplota.html>
- [80] BAXI. *Technické podklady pro projekční a montážní činnost* [online]. 2014, 40 s. [cit. 2015-05-18]. Dostupné také z: <http://www.baxi.cz/res/data/007/000803.pdf?seek=1384260053>
- [81] Otázky a odpovědi. *RWE: The energy to lead* [online]. c2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.rwe.cz/cs/ozemnimplynu/uctovani-v-kwh-91/>
- [82] BAJEROVÁ, Jarmila. Topíme plynem: Kdy se vyplatí kondenzační plynový kotel? *Nazeleno.cz* [online]. 31. 7. 2013 [cit. 2015-05-18]. ISSN 1803-4160. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/topime-plynem-kdy-se-vyplati-kondenzacni-plynovy-kotel.aspx>
- [83] Přehled cen zemního plynu: ceny platné od 1. 1. 2015. *TZBinfo: Technická zařízení budov* [online]. c2001-2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/13-prehled-cen-zemniho-plynu>
- [84] THERMONA, SPOL. S R.O. *Ceník výrobků a příslušenství* [online]. 2015, 16 s. [cit. 2015-05-08]. Dostupné také z: [http://www.thermona.cz/sites/default/files/dokumentace/ceniky/CENIK\\_vyrobku\\_2015-04w.pdf](http://www.thermona.cz/sites/default/files/dokumentace/ceniky/CENIK_vyrobku_2015-04w.pdf)



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$H_i$	$[J.m^{-3}]$ nebo $[Wh.m^{-3}]$	výhřevnost zemního plynu
$H_s$	$[J.m^{-3}]$ nebo $[Wh.m^{-3}]$	spalné teplo zemního plynu
CBM		metan z uhelných slojí (Coal Bed Methane)
CNG		stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas)
CSM		metan z uhelných slojí (Coal Seam Methane)
ČR		Česká republika
ERÚ		Energetický regulační úřad
EU		Evropská unie
HPS		hraniční předávací stanice
KS		kompresní stanice
LNG		zkapalněný zemní plyn (Liquefied Natural Gas)
LPG		zkapalněný ropný plyn (Liquefied Petroleum Gas)
PDS		provozovatel distribuční soustavy
PPS		provozovatel přepravní soustavy
PZP		podzemní zásobník plynu
USA		Spojené státy americké
ZP		zemní plyn
$CH_4$		metan
$C_2H_6$		etan
$C_3H_8$		propan
$C_4H_{10}$		butan
$C_5H_{12}$		pentan
$N_2$		dusík
$CO_2$		oxid uhličitý
$H_2S$		sulfan

## SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

- Obr. 1.1: Podíl ropy a plynu v závislosti na hloubce pod povrchem a teplotě [6]  
Obr. 1.2: Obrázek správně hořícího plynového plamene [12]  
Obr. 1.3: Těžba plynu z různých druhů ložisek [22]  
Obr. 1.4: Tanker společnosti Azbil Corporation převážející LNG [27]  
Obr. 2.1: Podíl jednotlivých skupin odběratelů na celkové spotřebě ZP (2013) [36]  
Obr. 2.2: Spotřeba zemního plynu na našem území mezi lety 2004 a 2013 [36]  
Obr. 2.3: Bilance dovozu a vývozu zemního plynu v období 2004-2013 [36]  
Obr. 2.4: Mapa přepravní soustavy na území ČR [44]  
Obr. 2.5: Těžba zemního plynu v ČR v letech 2004 až 2013 [36]  
Obr. 2.6: Oblasti, kde se nachází ložiska zemního plynu v ČR [50]  
Obr. 3.1: Využití PZP v jednotlivých měsících roku 2013 [36]  
Obr. 3.2: Mapa PZP v České republice [41]  
Obr. 3.3: Princip činnosti podzemního zásobníku plynu [51]  
Obr. 4.1: Lokace nekonvenčních ložisek plynu ve světě [64]  
Obr. 4.2: Schéma čtyřfázové anaerobní digesce [71]  
Obr. 5.1: Účinnost kotle v závislosti na relativním potřebném výkonu [80]  
Obr. 5.2: Schéma závislosti účinnosti kotle na teplotě zpáteční topné vody [80]  
Obr. 5.3: Teplota topné vody za různých venkovních teplot [80]

## SEZNAM TABULEK

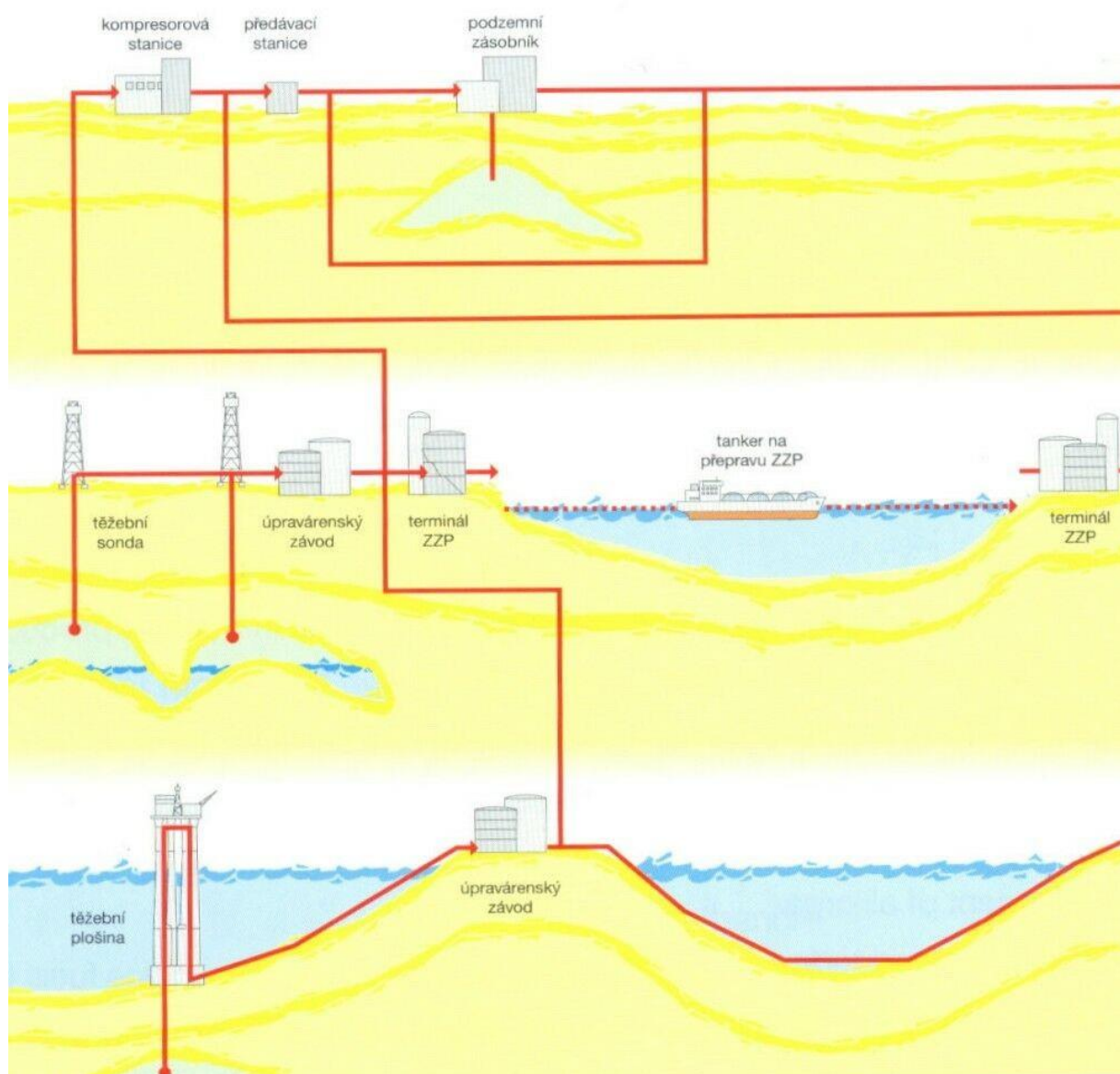
- Tab. 1.1: Složení vybraných zemních plynů, používaných v EU [14]  
Tab. 1.2: Fyzikální vlastnosti zemního plynu [8,14,18]  
Tab. 1.3: Země s nejvyšším množstvím ověřených zásob plynu [20]  
Tab. 1.4: Země s nejvyšší produkcí zemního plynu [20]  
Tab. 1.5: Země s nejvyšší spotřebou zemního plynu [20]  
Tab. 3.1: Vyhodnocení uskladněného plynu v PZP v České republice (2013) [36]

## SEZNAM PŘÍLOH

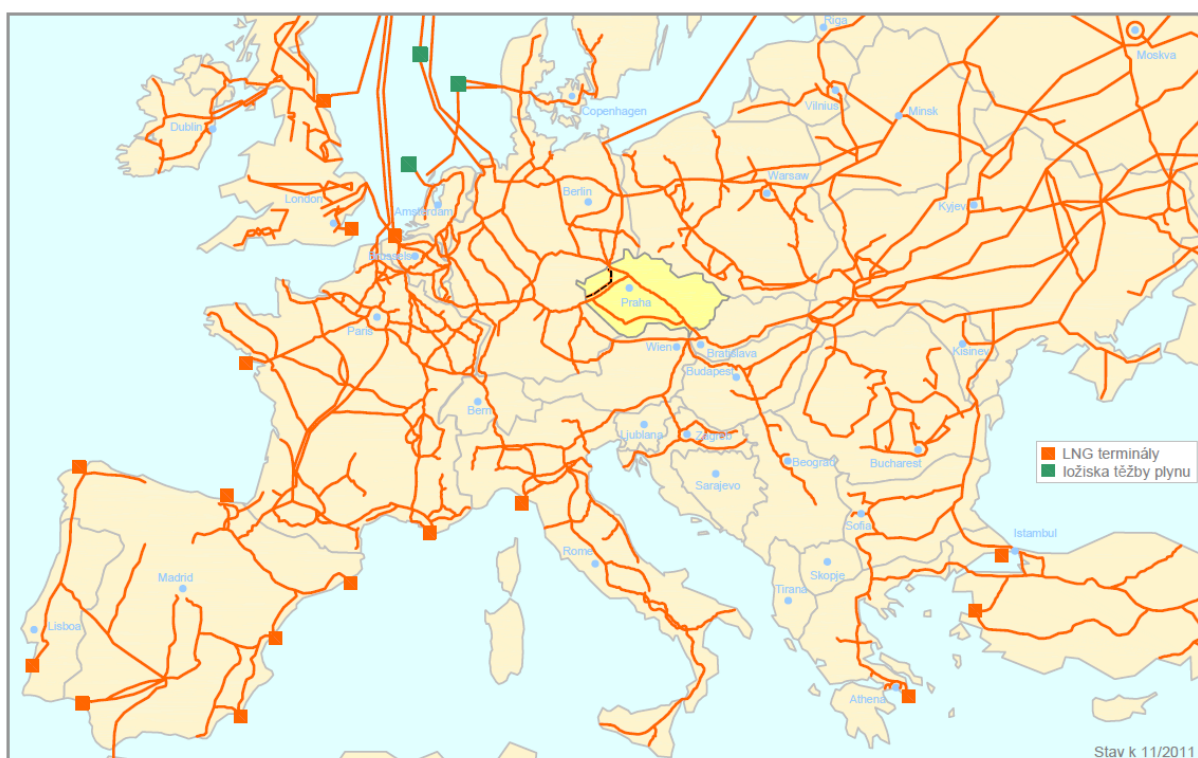
- Příloha 1: Schéma produkce plynu v různých lokalitách [2]  
Příloha 2: Síť tranzitních plynovodů v Evropě [28]  
Příloha 3: Mapa největších plynovodů zásobujících střední Evropu [29]  
Příloha 4: Schéma plynárenské soustavy ČR [36]  
Příloha 5: Stav zásob v PZP během roku 2013 [36]  
Příloha 6: Schéma výroby a využití bioplynu [73]  
Příloha 7: Nákres kondenzačního kotle Luna Platinum HT firmy BAXI [80]  
Příloha 8: CD s elektronickou verzí práce

## PŘÍLOHY

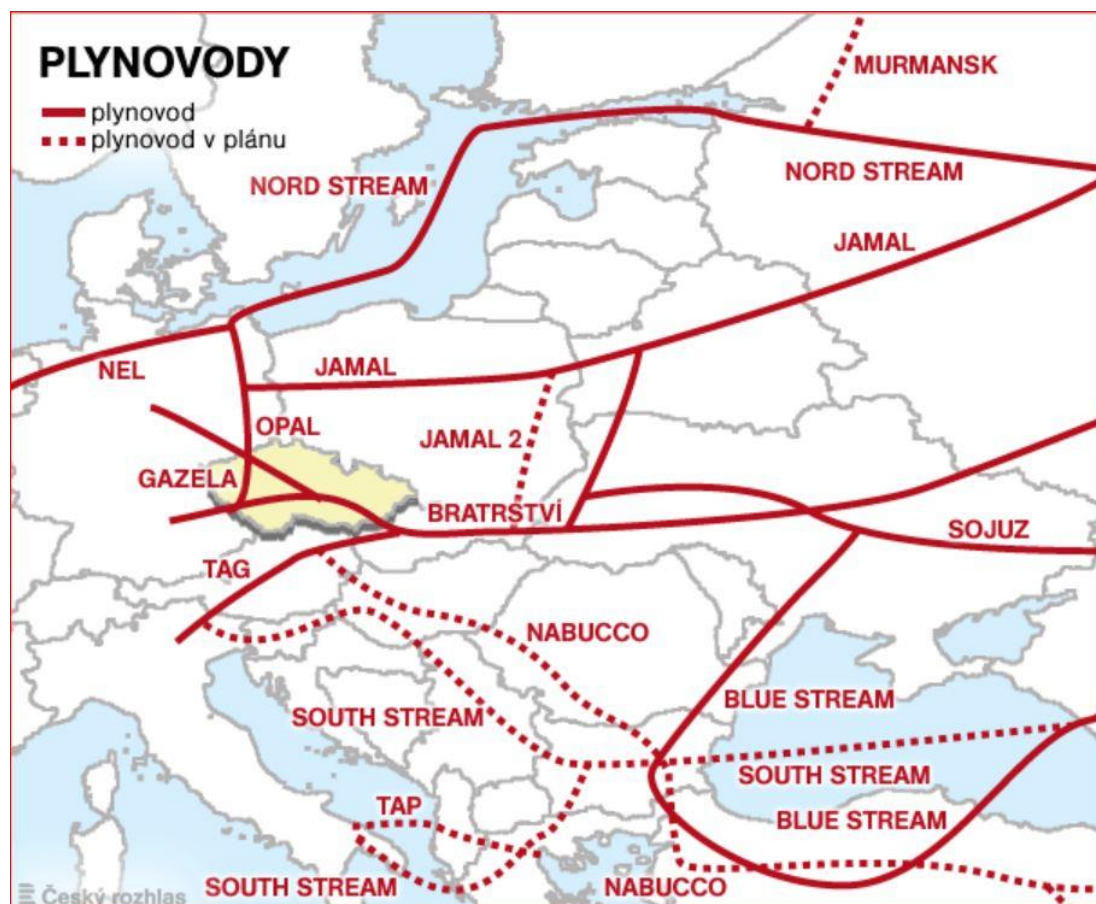
Příloha 1: Schéma produkce plynu v různých lokalitách [2]



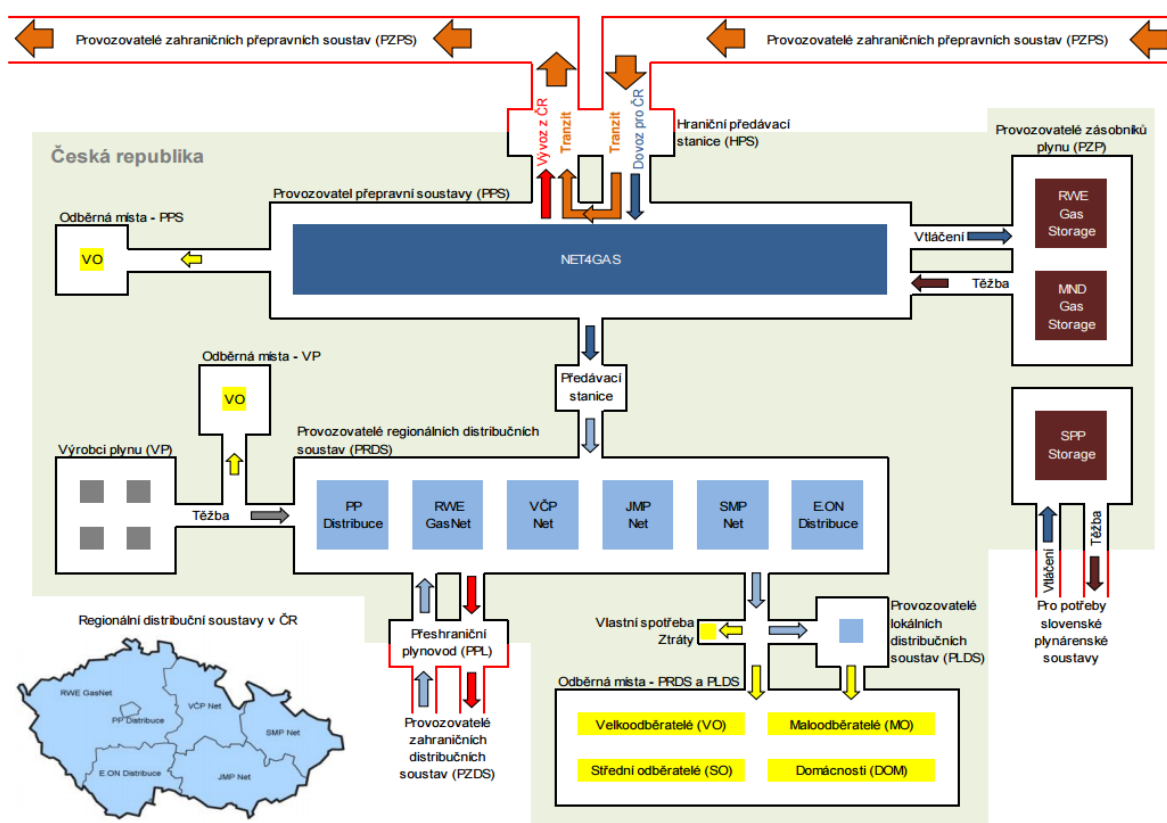
Příloha 2: Síť tranzitních plynovodů v Evropě [28]



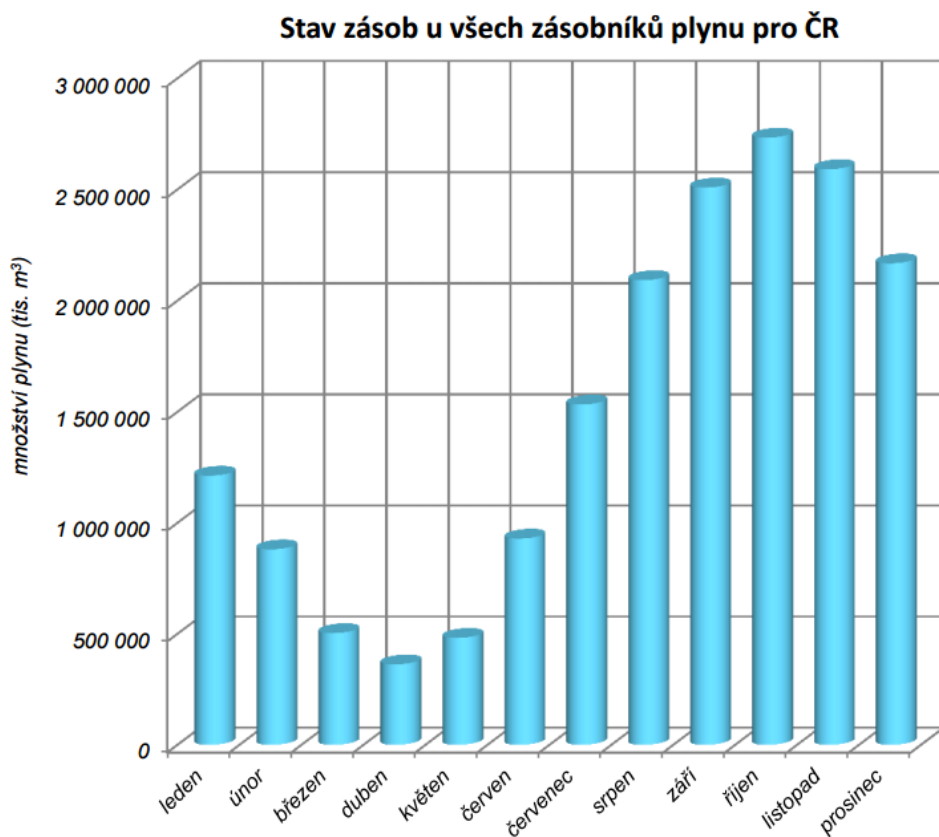
Příloha 3: Mapa největších plynovodů zásobujících střední Evropu [29]



Příloha 4: Schéma plynárenské soustavy ČR [36]

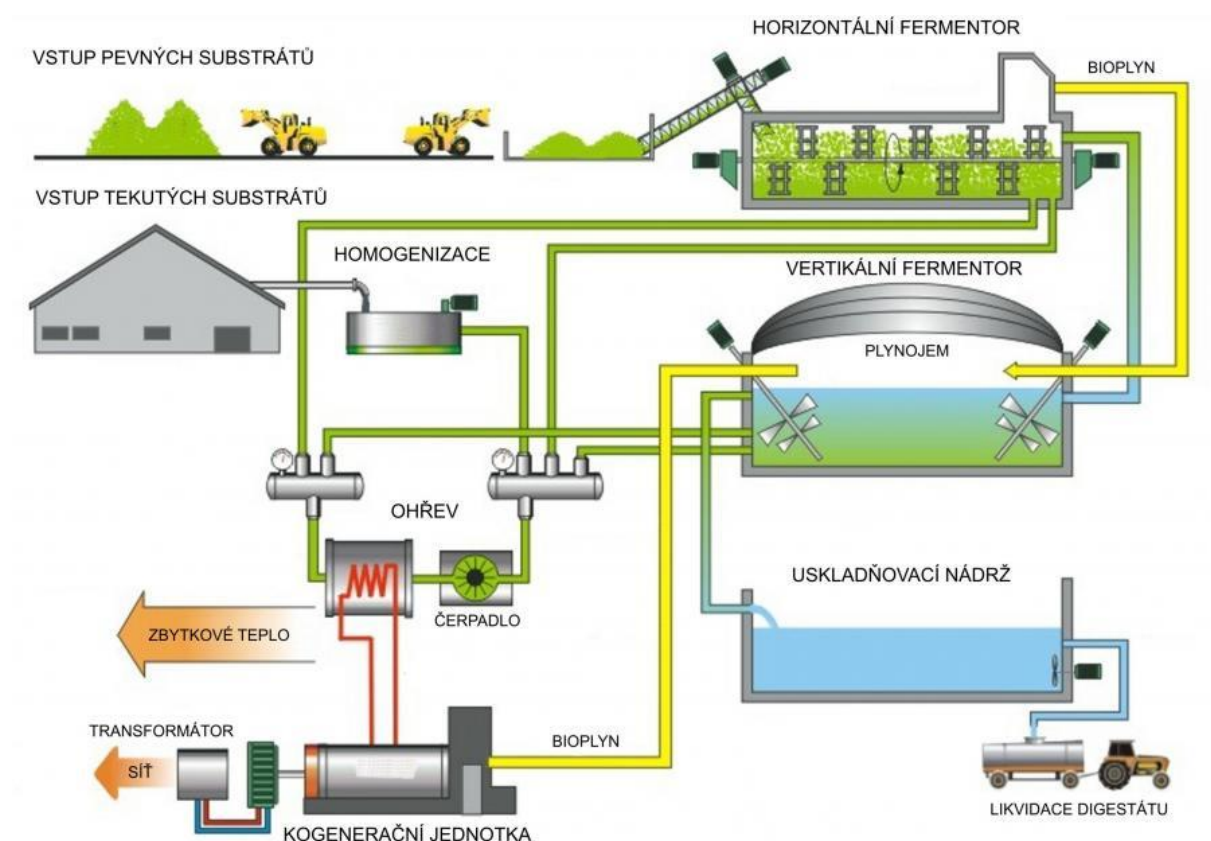


Příloha 5: Stav zásob v PZP během roku 2013 [36]



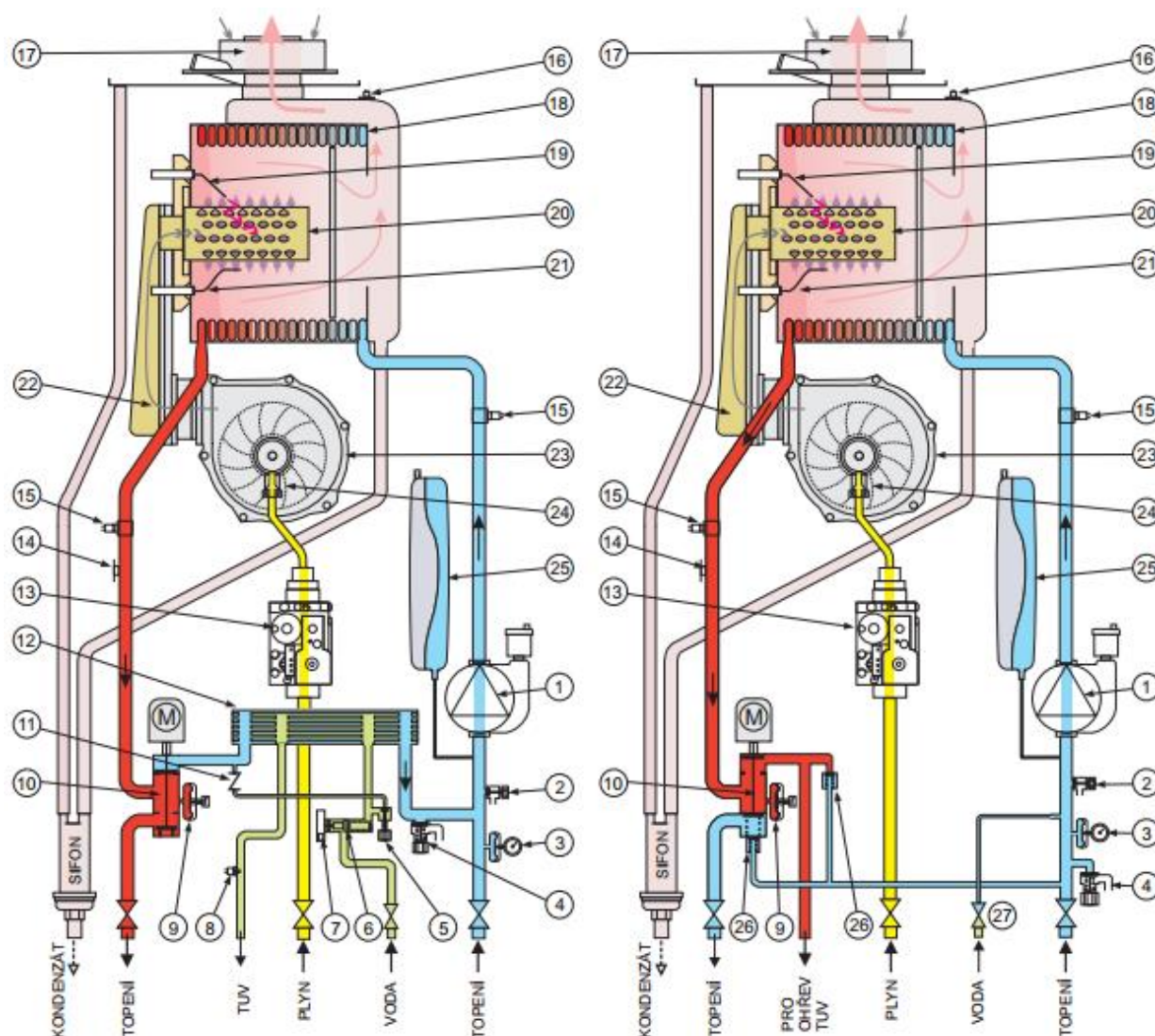


Příloha 6: Schéma výroby a využití bioplynu [73]





Příloha 7: Náčrtek kondenzačního kotle Luna Platinum HT firmy BAXI [80]



1. ČERPADLO S ODVZDUŠNĚNÍM
2. VYPOUŠTĚCÍ VENTIL KOTLE
3. TLAKOMĚR
4. POJISTNÝ VENTIL
5. NAPOUŠTĚCÍ VENTIL
6. SNÍMAČ PRŮTOKU S FILTREM A REDUKCÍ PRŮTOKU
7. ČIDLO PŘEDNOSTI
8. SONDA NTC TUV
9. HYDRAULICKÝ TLAKOVÝ SPÍNAČ
10. TROJCESTNÝ VENTIL
11. ZPĚTNÁ KLAPKA
12. SEKUNDÁRNÍ VÝMĚNÍK
13. PLYNOVÁ ARMATURA
14. BEZPEČNOSTNÍ TERMOSTAT

15. SONDA NTC VYTÁPĚNÍ
16. ČIDLO SPALIN
17. KOAXIÁLNÍ SPOJKA
18. PRIMÁRNÍ VÝMĚNÍK
19. ZAPALOVACÍ ELEKTRODA
20. HOŘÁK
21. KONTROLNÍ ELEKTRODA PLAMENE
22. SMĚŠOVACÍ KOMORA PLYN/VZDUCH
23. VENTILÁTOR
24. VENTURI
25. EXPANZNÍ NÁDOBA
26. AUTOMATICKÝ BY-PASS
27. NAPOUŠTĚCÍ VENTIL SE ZPĚTNOU KLAPKOU